

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: Úpravnictví

Studijní program: Nerostné suroviny



Disertační práce doktorského studia

VYUŽITÍ DESULFATAČNÍHO KALU
V TECHNOLOGII STAVEBNÍCH HMOT

Autor: Ing. Petra Malíková

Školitelka: Prof. RNDr. Nadežda Številová, Ph. D.

Ostrava 2009

ABSTRAKT

V předložené disertační práci je řešena možnost využití směsného desulfatačního kalu (čistírenského) z desulfatace důlních vod v technologii stavebních hmot. Desulfatace byla prováděna poloprovozně na důlní vodě na čerpací stanici divize Jiří ze Sokolovské uhelné a.s. (lokalita Divize Jiří), a na Úpravně vod Mostecké uhelné, a.s. (lokalita Armáda).

Směsný desulfatační kal vzniká při technologii čištění vod s nadlimitním obsahem síranů, kde je nejprve voda alkalizována na požadované pH a pak se využívají k chemickému srážení hlinité ionty a dochází k formování sloučenin typu ettringitu.

Tato technologie byla v letech 1996 – 1999 vyvinuta na Institutu environmentálního inženýrství, při Hornicko-geologické fakultě, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, v rámci projektu GA ČR č. 105/96/0752.

Problematika likvidace nebo využití kalového podílu jako druhotné suroviny nebyla doposud uspokojivě řešena. Jako jedna z možností se nabízí využití v technologii stavebních hmot. Práce vychází z experimentálních laboratorních zkoušek, které byly prováděny po dobu tří let.

V rámci optimalizace průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu byla jako stavební materiál zvolena sádrová směs. Laboratorně byly ověřovány pevnostní charakteristiky sádrových směsí na bázi směsného desulfatačního kalu v závislosti na teplotě úpravy směsného desulfatačního kalu. Dále byl proveden mineralogický rozbor u vzorků směsného desulfatačního.

Při ověření možnosti využití upraveného směsného desulfatačního kalu jako pojiva nebo přísady v maltovinách pro omítání byl počítán z chemického rozboru mechanotermicky upraveného směsného desulfatačního kalu hydraulický modul. Dále byly navrženy směsné receptury experimentálních maltových směsí na bázi směsného desulfatačního kalu. Byla postavena zkušební stěna, na kterou se aplikovala experimentální maltová směs na bázi směsného desulfatačního kalu, která dosahovala nejlepších fyzikálně-mechanických vlastností (pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku). Stanovovala se přídržnost zatvrdlé malty k podkladu.

Za účelem návrhu receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu se optimalizovaly retardační přísady a byly provedeny zkoušky mrazuvzdornosti. Optimalizace retardačních přísad se měřila na Vicatově přístroji, kdy se měřily počátky a doby tuhnutí experimentálních záměsí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Důlní voda, směsný desulfatační kal (čistírenský), čistý desulfatační kal (ettringitický), ettringit, sraženina, materiálové využití, sádra, omítka, stavební hmoty.

ABSTRACT

In submitted dissertation work is solved possibility of usage mixed desulphatation sludge (water treatment) from desulphatation mine waters in technology of building materials. Desulphatation was provided by pilot plant on mine water on pumping plant division Jiří from Sokolovská uhelná, a.s. (locality Division Jiří), and on mine water treatment from Mostecká uhelná, a.s. (locality Armáda).

Mixed desulphatation sludge generates at water treatment technology with above-limit content sulphates, where is first water alkalized on requisite pH and then derived benefit from to chemical removing aluminate ions and happens to formation adducts of type ettringit.

This technology was developed in years 1996 – 1999 on Institute of environmental engineering, at Faculty of Mining and Geology, VŠB– technical university of Ostrava, in terms of project GA ČR No. 105/96/0752.

Problems of liquidation or usage sludge content like secondary raw material wasn't till now satisfactorily solved. As one of the possibilities offers usage in technology of building materials.

Work starts from experimental laboratory examinations that were compiled in period of the three years.

In scope of course optimalization of heat treatment mixed desulphatation sludge was like construction material elected plaster mixture. Laboratory were checked strength characteristics of plastering mixtures on base mixed desulphatation sludge at dependency on temperature treatment of mixed desulphatation sludge. Further was realized mineralogical analyse of samples of mixed desulphatation sludge.

At check possibilities of usage modified mixed desulphatation sludge like bonding agent or additives in mortar for rendering was calculated hydraulic modulus, from chemical analysis of mechanic-thermal modified mixed desulphatation sludge. Further were designed mixed prescriptions of experimental mortar mixtures on base of mixed desulphatation sludge. Trial wall was built whereupon experimental mortar mixture on base of mixed desulphatation sludge, which reached best physical-mechanical feature (tensile strength and compressive strength), was applied. It was Gripping of hardened mortar to undercoat was determined.

In order to of proposal prescription of mineral plaster on base mixed desulphatation sludge was optimised retarder additives and freezing tests were performed. Optimalization of retarder additives was measured on Vicat apparatus, when initial setting time and final setting time of experimental mixtures were measured.

KEY WORDS

Mine water, mixed desulphatation sludge (water treatment), clean desulphatation sludge (ettringitic), ettringite, precipitate, material utilisation, gypsum, plastering, building materials.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A	Al_2O_3
C	CaO , pevnostní třída podle pevnosti v tlaku
C₂S	dikalciumsilikát (belit)
C₃A	trikalciumaluminát
C₃S	trikalciumsilikát (alit)
C₄AF	tetrakalciumaluminátferit
CR	zabarvené malty pro vnější omítky
ČSA	československé armády
D	křemičitý úlet
F	Fe_2O_3 , plnivo
GP	obyčejné malty pro vnitřní nebo vnější omítky
H	H_2O
K	cementový slínek
L	vápenec
LW	lehké malty pro vnitřní nebo vnější omítky
M	vícesložková směs
MC	malty cementové obyčejné (hrubé)
MCP	malty pro cementový postřík
M_H	hydraulický modul
MV	malty vápenné obyčejné (hrubé)
MVC	malty vápenocementové obyčejné (hrubé)
MVCO	malty pro šlechtěné omítky
MVJ	malty vápenné jemné
MVO	malty vápenocementové jemné
MVS	malty vápenosádrové
OC	malty pro jednovrstvé vnější omítky
P	přírodní pucolán
Q	umělý pucolán
R	sanační malty pro vnitřní i vnější omítky
S	SiO_2 , granulovaná vysokopecní struska
\bar{S} (\hat{S})	SO_3
SD kal	směsný desulfatační kal
T	kalcinátová břidlice, pevnostní třída podle pevnosti v tahu za ohybu, tepelněizolační malty pro vnitřní i vnější omítky
UDV	úpravna důlních vod
V	křemičitý popílek
W	vápenatý popílek

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou disertační práci vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu využité pro vypracování mé disertační práce.

V Ostravě 13. července 2009

.....

Za všestrannou pomoc a podporu při zpracování mé disertační práce děkuji především paní prof. RNDr. Nadežde Številové, Ph. D., panu Ing. Vojtěchovi Václavíkovi, Ph.D., panu Jaromíru Daxnerovi a všem, kteří mi byli nápomocni v průběhu výzkumu.

OBSAH DISERTAČNÍ PRÁCE

1	ÚVOD A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	8
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNATKŮ.....	9
2.1	Průmyslové odpady a jejich využití ve stavebnictví.....	9
2.2	Charakteristika vybraných průmyslových odpadů a jejich aplikace ve stavebnictví.....	10
2.2.1	Odpadní sádrovce	10
2.2.2	Odpadní kaly z čištění průmyslových odpadních vod	11
	<i>Využívání desulfatačního kalu v zahraničí.....</i>	<i>12</i>
3	POPIS VYBRANÝCH STAVEBNÍCH HMOT	13
3.1	Anorganická pojiva	13
3.1.1	Vápenosíranová pojiva	13
	<i>Druhy sádrových pojiv.....</i>	<i>15</i>
	<i>Tuhnutí sádrových pojiv.....</i>	<i>17</i>
	<i>Mechanické vlastnosti zatvrdlé sádry</i>	<i>18</i>
	<i>Modifikace vlastností sádry</i>	<i>19</i>
	<i>Další síranová pojiva.....</i>	<i>19</i>
3.1.2	Vzdušné vápno.....	20
3.1.3	Hydraulické vápno.....	24
3.1.4	Cement.....	26
	<i>Složení slínku</i>	<i>27</i>
	<i>Hydratační reakce.....</i>	<i>29</i>
	<i>Vícesložkový cement</i>	<i>32</i>
	<i>Klasifikace cementu</i>	<i>33</i>
3.1.5	Hlinitanový cement.....	36
3.1.6	Zkoušení hydraulických pojiv.....	37
3.2	Malty	37
3.2.1	Složení malt	38
3.2.2	Malty pro vnitřní a vnější omítky	41
3.2.3	Malty pro vnitřní sádrové omítky	44
3.2.4	Malty pro podlahové potěry ze síranu vápenatého	48
4	ETTRINGIT	50
5	DESULFATAČNÍ TECHNOLOGIE	53
5.1	Poloproduční příprava směsného desulfatačního kalu.....	54
6	LABORATORNÍ TESTY.....	56
6.1	Optimalizace průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu.....	56
6.1.1	Dílčí závěr.....	65
6.2	Ověření možnosti využití směsného desulfatačního kalu v maltovinách	65
6.2.1	Dílčí závěr.....	73
6.3	Návrh receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu.....	73
6.3.1	Dílčí závěr.....	79
7	ZÁVĚR.....	81
7.1	Doporučení pro další výzkum.....	81
8	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	83
9	SEZNAM TABULEK	85
10	SEZNAM CITOVANÝCH NOREM.....	86
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	90
	PUBLIKAČNÍ ČINNOST	93

1 ÚVOD A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Současné technologie v jednotlivých odvětvích průmyslu produkují velké množství odpadů, které obsahují i zhodnotitelné složky a to představují druhotné suroviny. Z toho vyplývá, že druhotné suroviny zahrnují širokou škálu materiálů, které se vyvíjejí a jsou neustále zlepšovány jejich vlastnosti.

Slovní spojení stavební hmoty je tradiční pojem zahrnující všechno, co se stává přímou součástí stavební konstrukce a s čím se zároveň můžeme setkat přímo na staveništi. Mezi stavební hmoty tedy počítáme nejen vlastní stavební materiály, ale i suroviny používané k jejich tvorbě, pokud se tato výroba uskutečňuje v rámci stavby. Patří sem i pomocné látky usnadňující provádění stavebních technologických operací a v neposlední řadě za stavební hmoty považujeme i kusová staviva, což jsou jednoduché výrobky které jsou charakterizovány nejenom látkou, ze které jsou zhotoveny, ale i svým tvarem a rozměry.

Soudobé stavebnictví zpracovává jak tradiční hmoty, používané na stavbách již po mnoho generací, tak hmoty zcela nové, vyrobené na základě nejnovějších vědeckých poznatků. Počet materiálů cíleně vyvíjených pro potřebu nějaké významné stavby nebo pro speciální stavební použití stále vzrůstá. Velká pozornost je věnována zlepšování vlastností stávajících stavebních hmot a původně speciální materiály se postupně mění v materiály běžné.

Řada stavebních materiálů a staviv je dostupná v mnoha látkových modifikacích či výrobových variantách, ovšem rozdíly ve vlastnostech zdánlivě podobných stavebních hmot přitom mohou být podstatné. K témuž účelu je naopak často možné použít stavební hmoty různého druhu se zcela odlišným látkovým složením. O výběru stavebního materiálu pro každý konkrétní účel rozhodují legislativní, technické, ekonomické a subjektivní požadavky.

Rostoucí význam mají výrobky přizpůsobené na míru určité konkrétní aplikaci (*tailor made materials*), jejichž úspěšný vývoj je podmíněn širokým znalostním zázemím[16].

Cílem disertační práce je zjistit možnost využití směsného desulfatačního kalu v technologii stavebních hmot, zejména v sádrových a omítkových směsích. K tomuto účelu je použit směsný desulfatační kal z desulfatace důlní vody ze Sokolovské uhelné a.s. (lokalita Divize Jiří), a Mostecké uhelné, a.s. (lokalita Armáda).

Z dosavadních výsledků je patrné, že směsný desulfatační kal je možné aplikovat v technologii stavebních hmot a je potřeba rozpracovat danou problematiku hlouběji.

Ve své disertační práci se chci zaměřit na:

- optimalizaci průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu,
- ověření možnosti využití upraveného směsného desulfatačního kalu jako pojiva nebo přísady v maltovinách pro omítání,
- návrh receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNATKŮ

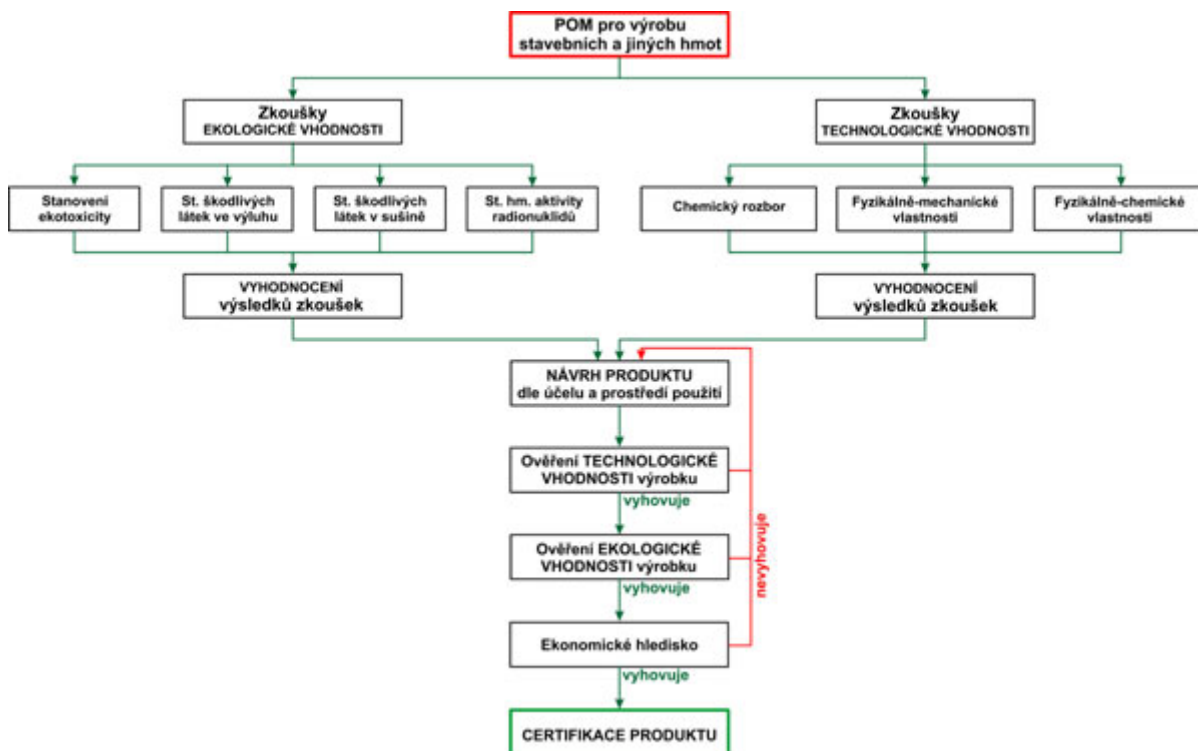
2.1 Průmyslové odpady a jejich využití ve stavebnictví

Otázka zneškodňování nebo racionálního využívání odpadů představuje z hlediska ochrany životního prostředí prvořadý úkol. Nelze také opomíjet ani ekonomické aspekty s tím související. Tuto problematiku řeší odpadové hospodářství (*waste management*) a pokrývá všechny stupně výrobního i spotřebního cyklu – od okamžiku těžby surovin, přes výrobu, dopravu a spotřebu produktů, až po zneškodňování odpadů, a to nejen z výrobních procesů, ale také z odpadů spotřebních.

Mezi hlavní cíle odpadového hospodářství patří:

- předcházet a omezovat vznik odpadů,
- se vzniklými odpady nakládat tak, aby byly plně využity jako druhotné suroviny,
 - materiálové využití – recyklace, kompostování, přepracování,
 - energetické využití – spalování,
- zneškodňování odpadů, které by bylo ekologicky únosné a ekonomicky výhodné.

Materiálové využití rozšiřuje a obohacuje domácí surovinovou základnu, snižuje nároky na dovoz surovin, šetří prvotní zdroje a vytváří předpoklady pro jejich racionální využívání. Přináší úspory energie, investičních prostředků a pracovních sil. Chrání životní prostředí před nepříznivými vlivy škodlivin[7].



Obr. 1: Grafické znázornění metodického postupu testování vhodnosti průmyslového odpadního materiálu určených pro použití ve stavebnictví a příbuzných oblastech[8]

Jednou z možných variant materiálového využití průmyslových odpadů je využití ve stavebnictví – v oblasti výroby stavebních hmot, za předpokladu dodržení určitých požadavků ve složení odpadního materiálu (obsah toxických látek, těžké kovy a ostatní škodliviny) a dále na vhodných technologických vlastnostech zhotovených výrobků, zejména fyzikálně mechanické vlastnosti. Na obr. 1 je schématicky znázorněn metodický postup při testování.

Vhodným zpracováním druhotných surovin do stavebních hmot nebo jiným technologickým způsobem dle dané škodliviny, lze obsah těchto látek ve vodných výluzích snížit na požadované nebo přípustné hodnoty.

Musí být prokázána technologická vhodnost odpadního materiálu na laboratorně nebo poloproduktově vyrobeném zkušebním výrobku, kdy musí být prokázána, dle příslušných zákonů, a nařízení vlády, zdravotní nezávadnost, technické vlastnosti. Z praktického hlediska může odpadní materiál ve stavební hmotě plnit funkci **pojiva**, **plniva** nebo **přísady**, přičemž může dojít k částečné nebo i úplné náhradě primárních surovin.

2.2 Charakteristika vybraných průmyslových odpadů a jejich aplikace ve stavebnictví

2.2.1 Odpadní sádrovce

Mezi odpadní sádrovce můžeme zařadit: energosádrovec, odpadní sírany ze skláren, odpadní sírany z chemického průmyslu, tj. chemosádrovec, fosfosádrovec, citrosádrovec, syntetický anhydrit aj. Jedná se většinou o chemicky velmi čisté suroviny s obsahem sádrovce a anhydritu nad 90%, které jsou z hygienického a ekologického hlediska považovány za nezávadné.

Nejvíce využívaným typem odpadních sádrovců je v současné době jednoznačně **energosaádrovec**, který vzniká při odsiřování spalín mokrou vápencovou vypírkou. Hlavní rozdíl mezi ním a přírodním sádrovcem spočívá ve fyzikálních vlastnostech – velikost zrna, tvorba typu krystalů a technicky důležitá sypná hmotnost. Energosaádrovce obsahují nečistoty, které se v přírodních sádrovcích běžně nevyskytují. Jedná se hlavně o chloridy, fluoridy, rozpustné Mg a Na soli, siřičitan vápenatý a nezreagovaný CaSO_3 (vliv použitého paliva, vápence a dalších přísad). Stupeň bělosti sádrovce z hnědého uhlí se pohybuje v rozmezí 20 – 40 %, oproti energosaádrovci ze spalování černého uhlí se jedná o výrazně tmavší barvu. Energosaádrovce jsou v současnosti využívány zejména pro výrobu cementu (jako regulátor tuhnutí nebo jako přídavek do surovinové směsi na vázání většího množství alkálií), k výrobě sádrokartonových desek, omítkových směsí a menší množství k výrobě pórobetonu. Značné množství produkce je mícháno s popílkem a využíváno ve formě stabilizátu k rekultivačním účelům, což považujeme za neefektivní využití jinak kvalitního materiálu. Připravovány jsou technologie dalšího využití energosaádrovce, např. výroba sádrových tvárnic nebo sádrotrískových desek.

Využití chemosaádrovce (nehořlavý, neagresivní, netoxický a zdravotně nezávadný) je ovlivněno požadavky na barevnost. Bílý průmyslový sádrovec je využíván jako přísada do

cementu, k výrobě sádry, sádrových pojiv a pro základní hnojení zemědělských plodin ve všech půdních a klimatických podmínkách. Hydratovaný síran vápenatý polotuhé plastické konzistence okrově rezavé barvy je využíván pro technickou rekultivaci povrchových uhelných dolů, zbytkových jam po těžbě užitkových nerostů, odkališť nebo skládek odpadů, do podsypového materiálu při stavbě silnic a dálnic. Stejným způsobem jsou využívány i další typy odpadních sádrovců.

Syntetický anhydrit (jemný prášek šedé barvy, nehořlavý, nevýbušný, netoxický, vykazující alkalickou reakci vzhledem k malému přebytku CaO) se běžně používá pro výrobu pórobetonu, sádrokartonu, jako složka do samonivelizačních podlah a do cementových a maltových směsí[8].

2.2.2 Odpadní kaly z čištění průmyslových odpadních vod

U mnoha postupů čištění průmyslových odpadních vod odpadá jako vedlejší produkt více nebo méně koncentrovaná vodní suspenze, kterou nazýváme kalem. Kal je tedy tvořen souvislou kapalnou fází, ve které je dispergovaná tuhá fáze. Některé kaly mohou obsahovat i emulze tvořené spojitou kapalnou fází a další nespojitou dispergovanou kapalnou fází ve formě kapiček, která je se spojitou fází nemísitelná. Základní informace o vlastnostech kalu poskytuje především kvalitativní a kvantitativní složení tuhé a kapalné fáze kalu[9].

K posouzení využitelnosti a zpracovatelnosti kalu případně i jeho škodlivosti je potřebná znalost řady dalších vlastností. Důležitý je stupeň disperzity tuhé fáze, rozptýlené v kapalině. Kal může obsahovat tuhé částice velmi rozdílných velikostí, a to od makroskopických částic (velikosti řádově od 0,1 mm výše), přes mikroskopické částice viditelné v optickém mikroskopu (velikosti nad cca 0,0005 mm) až po submikroskopické částice s (velikosti pod 0,0005 mm), které vytvářejí koloidní disperze (lysoly).

Další důležitou vlastností kalu je jeho konzistence, která úzce souvisí s celkovou koncentrací tuhých složek v kapalině, jinak též vyjadřovanou jako obsah sušiny v kalu. Koncentrace tuhé fáze v kalu může kolísat v rozsahu několika řádů. Existují kaly s nepatrným podílem tuhé fáze, se kterými lze manipulovat prakticky stejně jako s čistou kapalinou. Při zvyšující se koncentraci tuhé fáze přechází kal přes kašovitou a pastovitou konzistenci až do stadia zvlhlého tuhého odpadu, přičemž přesná hranice mezi kalem a tuhým odpadem není definovaná.

Manipulovatelnost a mechanickou zpracovatelnost rovněž ovlivňuje též stupeň aglomerace, tj. stupeň shlukování jednotlivých tuhých částic do relativně stabilních útvarů – aglomerátů. Schopnost tuhých částic vytvářet v suspenzích shluky může být intenzifikována přidávkou flokulantů.

Důležitá je rovněž znalost morfologických vlastností, tj. tvarových zvláštností jednotlivých typů částic a z nich eventuálně vzniklých shluků. Z hlediska mezifázové interakce je velmi

důležitou veličinou měrný povrch tuhých částic, tj. úhrnný povrch všech částic přítomných v tuhé fázi o jednotkové hmotnosti.

Pro zpracování kalů mají podstatný význam další fyzikální a fyzikálně-mechanické vlastnosti tuhých částic kalů a jejich shluků, k nimž náleží:

- měrná hmotnost tuhých částic nebo jejich shluků,
- mechanická odolnost částic a shluků,
- smáčivost povrchu tuhých částic kapalinou.

Pro využívání a zneškodňování odpadních kalů byla vyvinuta řada technologických postupů, mezi které lze zahrnout recyklaci, spalování, hnojení, kompostování, solidifikaci a fixaci a ukládání na odkalištích, na skládkách odpadů a v podzemních prostorech.

Další možností finální etapy zpracování kalů z čištění průmyslových odpadních vod je zakomponování kalu do stavebních materiálů. Tento způsob likvidace kalu vychází z možnosti přídavku kalu do stavebních materiálů, které tím nesmí ztratit svoje základní vlastnosti a současně nesmí být ohroženo životní prostředí. Často je dosažitelné omezeným přídavkem kalu, jímž se zásadně nezmění složení stavebního materiálu.

Příkladem může být přídavek kalů, svým složením hydroxidů těžkých kovů, do materiálu pro výrobu cihel. Jiným příkladem je spalování kalu z městských čistíren odpadních vod v cementářské peci, které je s úspěchem na několika lokalitách realizováno. K cementářské směsi se přidává sušený kal, jehož organická hmota je při vysokých teplotách pece spolehlivě spálena a anorganický zbytek, v omezeném poměru k cementářské hmotě, slínek nepříznivě neovlivní. Spalováním nesmí však být ohrožena kvalita exhalátu.

Další možností může být využití některých kalů z čištění průmyslových odpadních vod při výrobě struskoalkalických betonů[9].

Využívání desulfatačního kalu v zahraničí

Dosavadní poznatky ze zahraničí o využívání desulfatačního kalu z chemického čištění vod s nadlimitním obsahem síranů dle popsané technologie (v kapitole 5) v technologii stavebních hmot nejsou známy. V zahraničí se provozovatelé podobných technologií, využívající procesy formování ettringitu k imobilizaci iontů rizikových prvků, z hlediska nakládání se vzniklými kalovými podíly omezují pouze na konstatování, že se produkované „ettringitické“ kaly dají bezpečně a ekonomicky sládkovat, a že v blízké budoucnosti bude možné tyto kaly využívat[30].

3 POPIS VYBRANÝCH STAVEBNÍCH HMOT

3.1 Anorganická pojiva

Termínem pojiva označujeme látky, které lze upravit do tekuté nebo kašovitě formy a které pak z této formy přecházejí relativně snadno do formy pevné. V důsledku tohoto procesu mají schopnost spojit nesoudržná zrna nebo kusy jiných látek v soudržnou hmotu.

V průběhu zpevňovacího procesu rozeznáváme dvě stádia, a to tuhnutí a tvrdnutí. Ve fázi tuhnutí ztrácí tekutá nebo kašovitá forma pojiva svou původní zpracovatelnost a postupně nabývá charakteru pevné látky. V následující fázi tvrdnutí získává takto vzniklá pevná látka vyšší pevnost, která je potřebná při praktickém využití pojiva ve stavební funkci.

Pojiva založená na anorganické bázi ve stavebnictví převažují. Podle stálosti ve vodním prostředí se dělí na pojiva vzdušná a pojiva hydraulická.

Základem většiny anorganických pojiv jsou práškovité látky minerálního původu, které se do kašovitě podoby převádějí smíšením s vodou. Jejich hlavní složka se získává tepelným zpracováním vhodné přírodní horniny nebo minerální směsi. S ohledem na tradiční použití malt se někdy označují jako maltoviny.

K dokonalému vytvrzení vzdušných pojiv dochází pouze na vzduchu, ale ani dokonale vytvrzená vzdušná pojiva nejsou vůči vodě zcela odolná.

Na rozdíl od pojiv vzdušných jsou hydraulická pojiva schopná dosáhnout trvalé, technicky dostačující pevnosti i ve vodě. K uspokojivému průběhu tuhnutí hydraulických pojiv dochází sice mnohdy jen na vzduchu, jakmile však vznikne zatuhlá struktura, mohou další hydratační pochody uspokojivě probíhat i pod vodou.

Vznik trvalých, ve vodě nerozpustných struktur je podmíněn přítomností oxidu křemičitého (SiO_2), hlinitého (Al_2O_3) a železitého (Fe_2O_3). Tyto oxidy proto souhrnně označujeme jako hydraulity.

Pevná struktura ztvrdlého hydraulického pojiva je tvořena především krystalizací hydrokřemičitanů a hydrohlinitanů vápenatých. Význam karbonatizační reakce pro hodnotu výsledné pevnosti hydraulického pojiva není klíčový[16].

Empirickým ukazatelem hydraulicity pojiva je hydraulický modul, který udává poměr hmotnostního procentního obsahu oxidu vápenatého k celkovému hmotnostnímu obsahu všech tří hydraulických oxidů

$$M_H = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Vzdušné vápno, které má obsah CaO minimálně 85 %, má $M_H > 6$, hydraulické vápno má $M_H < 6$, portlandský cement $M_H < 2,5$ a hlinitanový cement $M_H < 1,5$.

3.1.1 Vápenosíranová pojiva

Za vápenosíranová pojiva považujeme pojiva, jejichž základní složkou je síran vápenatý (CaSO_4). Jsou to pojiva vzdušná. Patří k nim především sádra a anhydritové pojivo. Sádra patří

k nejstarším pojivům, které lidstvo používá. Znali a používali ji již staří Egypťané a Asyřané. V Evropě se používá od raného středověku. Síranová pojiva se vyrábějí z přírodních minerálů (sádrovce nebo anhydritu) nebo ze syntetických produktů podobného složení, které vznikají nejčastěji jako odpad při různých průmyslových procesech.

Přírodní sádrovec (dihydrát síranu vápenatého) vznikl vypařováním slané vody v uzavřených mořích a jezerech.

Chemicky čistý $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ obsahuje 20,9 % chemicky vázané vody. Objemovou hmotnost má kolem $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a je bílý nebo bezbarvý.

Běžně se nacházející dihydrát obvykle obsahuje určitý podíl hlinitých částic, břidlice, anhydritu, křídý apod. Podle typu a množství nečistot se mění barva minerálu, např. na hnědou, růžovou či šedou. Sochařsky hodnotnou formou $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ je bílý alabastr.

Bezvodý přírodní anhydrit (CaSO_4) vznikl ze sádrovce působením vysokých teplot a tlaků, často za spolupůsobení chloridu anhydritu zpravidla výrazně kontaminován.

Chemicky čistý anhydrit má objemovou hmotnost kolem $3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a jeho barva je bílá. Nečistý anhydrit může mít nejrůznější světlé odstíny (modré, hnědé, červené, šedé).

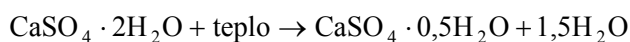
Další surovinou pro výrobu síranových pojiv může být syntetický sádrovec, vznikající jako vedlejší produkt např. při výrobě fosfátových hnojiv a kyseliny fosforečné. Větší význam má tzv. energosádrovec (viz kapitola 2.2.1)

V České republice jsou poměrně malá ložiska přírodního sádrovce (u Koberic), proto se často používá jako surovina pro výrobu sádry právě energosádrovec.

Výroba a použití síranových pojiv jsou založeny na schopnosti výchozích surovin účinkem tepla uvolňovat krystalicky vázanou vodu a tu opět po přidání vázat a vytvářet pevnou hmotu[16].

Výroba a rozdělení síranových pojiv

Nejběžnější z vápenosíranových pojiv je sádra, chemicky se jedná o polohydrát $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Proces její výroby z dihydrátu $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (dehydratace) se nazývá kalcinace a probíhá podle rovnice



Podle způsobu tepelného rozpracování vznikají z výchozí suroviny pojiva, která se ve svých vlastnostech podstatně liší. Základními typy pojiv, která při kalcinaci vznikají, jsou α -sádra a β -sádra. Zatímco β -sádra vzniká pouhým zahříváním sádrovce za normálního atmosférického tlaku, α -sádra je připravována zahříváním za současného zvýšení tlaku. Obě tyto formy mají stejné chemické složení, liší se však stupněm agregace (velikostí krystalů a četností poruch v krystalové mřížce) a z toho vyplývají jejich značně odlišné technologické vlastnosti.

Pro výrobu β -sádry ze sádrovce je žádoucí co nejvyšší obsah dihydrátu. Přítomnost anhydritu by mohla ohrozit výrobní proces, případně kvalitu produktu.

Za kvalitnější pojivo je obecně považován α -polohydrát, který má hutnější, pravidelné jehlicovité částice a má uspořádanější krystalovou mřížku, která vykazuje po zatvrdnutí kaše větší pevnosti.

Částice β -polohydrátu jsou pórovité a mají nepravidelný tvar. β -polohydrát má větší počet poruch v krystalové mřížce, při stejné zrnitosti má větší měrný povrch než α -polohydrát, a tím i větší potřebu záměsové vody. Z toho pak vyplývá i menší pevnost zatvrdlé β -sádry. Základními rozdíly mezi α - a β -polohydrátem jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1: Rozdíly mezi α - a β -polohydrátem [16]

	α -hemihydrát	β -hemihydrát
Velikost částic	malá (10 – 20 μm)	velmi malá (1 – 5 μm)
Porézita částic	nízká	porézní
Měrný povrch	malý	velký
Poruchy v krystalové mřížce	malé	velké
Nárůst pevnosti	pomalejší	rychlejší
Konečná pevnost	vyšší	nižší

Kalcinací za vyšších teplot vznikají různé typy anhydritu. Jako první vzniká anhydrit III, který má opět dvě formy - α a β , podle toho, zda vznikl z α - nebo β -polohydrátu. Obě formy jsou nestálé a přeměňují se opět v polohydrát $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ i vzdušnou rychlostí.

Anhydrit III přechází po zahřátí na anhydrit II. Podle stupně výpalu se rozlišuje:

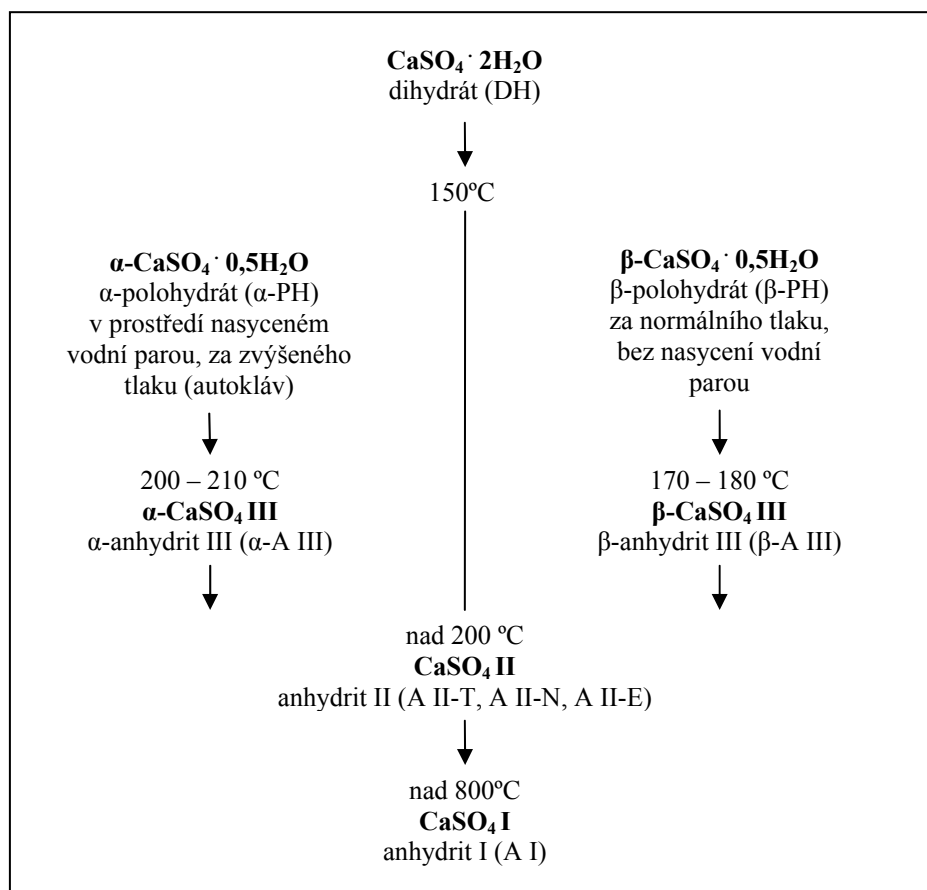
- anhydrit II-T, těžce rozpustný, vzniklý při teplotě výpalu 200 až 300 °C, jeho reakce s vodou s rostoucí teplotou klesá;
- anhydrit II-N, nerozpustný, vzniká při teplotě 300 až 600 °C, s vodou reaguje velmi pomalu;
- anhydrit II-E (estrichová sádra), vznikající výpalem nad 600 °C, kdy část anhydritu II se rozpadá na CaO a SO_3 .

Anhydrit II přechází zahřátím nad 1200 °C v anhydrit I, který vždy obsahuje volný CaO . Anhydrit I je nestabilní a ochlazením pod 1200 °C přechází opět v anhydrit II. Celkové schéma dehydratace sádrovce je přehledně popsáno na obr. 2.

Surovinou pro výrobu sádrových pojiv může být přírodní sádrovec, syntetický sádrovec, někdy i sádrové střepy (např. z keramických forem). Výroba probíhá tak, že se výchozí surovina nejprve upravuje, zbavuje nečistot, drtí a třídí na různou velikost. K tepelnému zpracování upravené suroviny slouží vařáky, autoklávy, rotační pece, šachtové pece (pro výpal nad 500 °C). Vypálená sádra se poté mele na předepsanou jemnost [16].

Druhy sádrových pojiv

Sádrová pojiva lze dělit podle mnoha hledisek, např. podle použití, podle způsobu výroby nebo podle technologických vlastností.



Obr. 2: Schéma dehydratace sádrovce a vznik forem CaSO_4

Podle použití se sádrová pojiva dělí na stavební sádro (ze které se vyrábí stavební dílce, omítky, štukatérské výrobky, sádrokarton), na technickou sádro, která se používá nejen ve stavebnictví (např. modelová sádra v keramickém průmyslu slouží pro výrobu sádrových forem), na modifikovanou sádro (tj. sádro, do níž byly přidány přísady pro zlepšení zpracovatelnosti, přilnavosti apod.). Zvláštní skupinu tvoří složená sádrová pojiva (sádra s přidavkem jiných pojiv). Doporučené druhy sádry pro různé použití uvádí norma ČSN 72 2301. Podle této normy se stavební sádry dělí na základě pevností, jemností mletí a doby tuhnutí (viz tab. 2 až 5).

Tab. 2: Rozdělení sádry podle tuhnutí (ČSN 72 2301)

Druh	Označení	Počátek tuhnutí	Konec tuhnutí max.
rychletuhnoucí	A	2 min	15 min
normálně tuhnoucí	B	6 min	30 min
pomalutuhnoucí	C	20 min	není stanoven

Tab. 3: Rozdělení sádry podle jemnosti mletí (ČSN 72 2301)

Druh	Označení	Zbytek na síti 0,2 mm nejvýše v %
hrubě mletá	I	30
středně mletá	II	15

Tab. 4: Třídy pevnosti sádry podle ČSN 72 2301

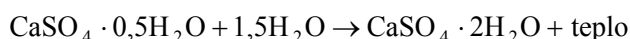
Třída	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-10	G-13	G-16	G-19	G-22	G-25
Pevnost v tlaku v MPa	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	22	25

Tab. 5: Doporučené použití sádry (ČSN 72 2301)

	Použití	Doporučené třídy a druhy
1	Výroba sádrových stavebních výrobků všeho druhu	G-2 až G-7 (A – B – C, I – II – III)
2	Výroba tenkostěnných stavebních výrobků a dekoračních prvků	G-2 až G-7 (A – B, I – II)
3	Provádění omítkových prací, spárování, speciální účely	G-2 až G-25 (B – C, II – III)
4	Výroba forem a modelů v průmyslu (porcelánovém, keramickém, strojním) a v lékařství	G-5 až G-25 (B, III)
5	Pro lékařské účely	G-2 až G-7 (A – B, II – III)

Tuhnutí sádrových pojiv

Mechanismus tuhnutí sádry lze zjednodušeně popsat rovnicí



Sádra se po smíchání s vodou rozpustí a vytvoří přesycený roztok, ze kterého vykristalizuje dihydrát $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Krystaly dihydrát postupně rostou a vzájemně srůstají, čímž vytvářejí pevný produkt.

Pevnost zatvrdlé sádry lze zvýšit jejím vysušením, neboť tak vzniknou z vodného síranového roztoku uloženého mezi krystaly další krystaly sádrovce, které zesilují již existující spojení mezi krystaly.

Rychlost tuhnutí sádry závisí na tom, kolik obsahuje anhydritu. Čím vyšší je teplota výpalu, tím více anhydritu obsahuje, a tím pomaleji tuhne. Doba tuhnutí ovlivňuje řada faktorů. Lze ji zkrátit prodloužením doby míchání směsi, snížením vodního součinitele, zvýšením teploty záměsové vody, přidáním urychlovačů tuhnutí (např. NaCl). Přidáním některých koloidních materiálů (mléka, agaru, kaseinu, keratinu) se doba tuhnutí prodlužuje[16].

Tuhnutí sádry je provázeno nárůstem objemu. Bezprostředně po rozdělení s vodou dochází ke smrštění, které však probíhá pouze v době, kdy je sádra v plastickém stavu. Se vznikem krystalů dihydrát se potom mírně zvětšuje objem. Velikost nárůstu závisí na jemnosti mletí, na vodním součiniteli, na přídavku zpomalovače tuhnutí a pohybuje se od 0,1 do 1 % celkového objemu. Sádry s přídavkem zpomalovačů nebo urychlovačů tuhnutí mají většinou objemový nárůst nižší. Zmenšit nárůst objemu lze také přidáním písku nebo vápence.

Nárůst objemu je považován většinou za žádoucí, neboť se při něm dokonale zaplní formy. Jestliže je růstu objemu zabráněno (např. tuhrou formou), proběhne vnitřní zhutnění, které vede k vyšší pevnosti, což lze využít například při výrobě stavebních dílů.

Mechanické vlastnosti zatvrdlé sádry

Základní mechanickou vlastností sledovanou u sádry je její tlaková pevnost. V závislosti na jakosti (pevnostní třídě) sádry činí 2 až 55 MPa. Pevnostní třídy u nás prodávané sádry uvádí norma ČSN 72 2301.

Modul pružnosti zatvrdlé sádry se pohybuje od 2000 do 6000 MPa, poměr pevností v tlaku a ohybu je cca 3 : 1.

Mechanické vlastnosti sádry závisejí na řadě faktorů, největší vliv má její vlhkost. Pevnost vysušené sádry je 2- až 3-krát větší než pevnost vlhkého materiálu. I malé změny vlhkosti výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti, např. kolísání vlhkosti o 0,1 % hmotnosti může způsobit změny pevnosti až o 8 %. Protože pevnost je ovlivňována vlhkostí prostředí, ve kterém se nachází.

Závady vlivem vlhkosti vznikají nesprávným zabudováním sádrových výrobků. K tomu dochází při překročení předepsané vlhkosti sádrového výrobku a jeho zabudování bez vysušení nebo při obkládání ještě nedostatečně suchého sádrového povrchu.

Stavební dílce ze sádry smějí být zabudovány do prostředí, kde relativní vlhkost nepřekročí 75 %, při vyšších vlhkostech je nutno provést příslušná opatření. Bylo však zjištěno, že v prostředí typickém pro obytné prostory nejsou změny pevnosti zásadní zejména proto, že po vyschnutí je sádra opět schopna dosáhnout původních pevností[16].

Dalšími faktory, které ovlivňují mechanické vlastnosti zatvrdlé sádry, jsou kvalita vstupních surovin, vodní součinitel, stáří materiálu, podmínky uložení produktu (jak během tuhnutí a tvrdnutí, tak i při použití).

Tab. 6: Vliv vodního součinitele na pevnost zatvrdlé sádry[16]

Vodní součinitel	Pomalutuhnoucí sádra		Rychlutuhnoucí sádra
	Objemová hmotnost kg·m ⁻³	Pevnost v tlaku* MPa	Pevnost v tlaku* MPa
0,50	1410	14,6	15,8
0,55	1300	13,0	14,0
0,60	1230	11,4	12,0
0,65	1170	10,8	
0,75	1040	9,5	

*Po 13 dnech při pokojové teplotě + 1 dni v 50 °C

Značný vliv na pevnost má použitý vodní součinitel. Nejvyšších pevností dosahují směsi, které obsahují pouze minimální množství vody, nezbytné k tuhnutí a krystalizaci (s vodním součinitelem asi 0,18). Tyto směsi však nemají dostatečně plastickou konzistenci, takže je nelze zpracovat.

V praxi je nutné používat podstatně vyšší vodní součinitel, běžně 0,6 až 0,8 (na 100 ml vody připadá 120 až 160 g sádry). V tab. 5 je popsán vliv velikosti vodního součinitele na pevnost sádry. α -sádra potřebuje při stejné zpracovatelnosti menší množství záměsové vody než β -sádra, proto jsou pevnosti zatvrdlé α -sádry vyšší.

Modifikace vlastností sádry

Do sádry mohou být přidávány přísady zlepšující některé z jejich vlastností. V zásadě je možno přísady rozdělit do těchto skupin:

- urychlovače (NaCl , KCl , NaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
- zpomalovače (látky, zpomalující tvorbu krystalizačních zárodků, látky povrchově aktivní – např. klíh, keratin, kyselina citrónová, melasa),
- fungicidní přísady,
- látky zlepšující odolnost zatvrdlé sádry proti vodě,
- barevné pigmenty,
- látky zvyšující plastičnost suspenze (např. výtažek z kořene ibišku).

Nejčastěji jsou používány přísady zpomalující tuhnutí, avšak každá úprava tuhnutí způsobuje při stejném vodním součiniteli pokles pevnosti. Např. přídavek 0,16 % kyseliny citrónové prodlužuje počátek tuhnutí z 14 na 140 minut a zmenšuje pevnost v ohybu až o 90 %.

Zlepšení odolnosti zatvrdlé sádry proti vodě není dosud uspokojivě dořešeno, mnohem účinnější se jeví povrchová úprava sádry nátěrem (např. fluorokřemičitany, vodním sklem, parafínem) nebo impregnací (např. dextrinem, klišovou vodou, boraxem), případně výroba hutnějšího materiálu.

Další možností úpravy vlastností sádrové hmoty je její vylehčování, buď lehkým kamenivem, nebo zvětšením pórovitosti vlastní sádrové hmoty. Pórovitost lze zvýšit buďto mechanickým provzdušněním s pomocí pěnového generátoru (pěno sádra), nebo nadouváním pomocí plynotvorné přísady (plynosádra)[16].

Další síranová pojiva

Anhydritové pojivo je pojivo, které se vyrábí jemným semletím přírodního nebo syntetického anhydritu A II. Převládá v něm bezvodý síran vápenatý, který sám o sobě nemá pojivé vlastnosti, proto k němu musí být přidáván aktivátor. Seznam možných aktivátorů je uveden v tab. 6.

Anhydritové pojivo je možno použít jen v trvale suchém prostředí a nelze ho míchat ani s vápnem, ani s cementem[16].

Historicky se ze sádrovce připravovaly různé druhy sádrovin, např. Keenův cement (vypálením sádrovce s cca 4,5 % kamence), Scottova sádrovina (vypálením sádrovce s cca 30 % vápna), De Wyldeho sádrovina (sádrovec s vodním sklem), Pariánská sádrovina (sádrovec s přísadou boraxu). Tyto maltoviny vykazují technologické vlastnosti podobné spíše portlandským cementům než sádře (počátek tuhnutí cca 2 hodiny, doba tuhnutí asi 5 hodin a pevnosti kolem 35 MPa).

Tab.7: Aktivátory pro anhydritové pojivo[16]

Aktivátor		Množství
zásaditý	portlandský cement	≤ 7%
	vápenný hydrát	
	vysokopeční struska	
sulfátový	síran hlinitý	< 3%
	síran zinečnatý	
	síran draselný	
směsný - zásaditosíranový		5%, z toho nejvýše 3% sulfátu

3.1.2 Vzdušné vápno

Vzdušné vápno patří k tradičním vzdušným pojivům. Používáno bylo zřejmě již od starověku (asi 600 let před n. l. v Babylóně). Na našem území pocházejí nejstarší nálezy fragmentů vápenných omítek s freskovou výzdobou z období Velké Moravy[10].

První zachované předpisy na výrobu vápna pocházejí z období přibližně 200 let před n. l. Pochopení chemických reakcí probíhajících při výrobě přinesly ovšem až práce J. Blacka, které můžeme datovat od roku 1760. V tab. 8 jsou uvedeny druhy vápna dle ČSN EN 459-1.

Tab. 8: Druhy vzdušného vápna (ČSN EN 459-2)

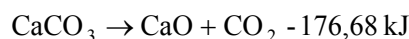
Označení	Značení	Obsah CaO+MgO ¹⁾	Obsah MgO ^{1,2)}	Obsah SO ₃ ¹⁾
Bílé vápno 90	CL90	90	5	2
Bílé vápno 80	CL80	80	5	2
Bílé vápno 70	CL70	70	5	2
Dolomitické vápno 85	DL85	85	30	2
Dolomitické vápno 80	DL80	80	5	2
Doplňující třídění	Přípona			
Nehašené vápno	Q			
Hašené vápno bílé	S			
Polohašené vápno dolomitické	S1			
Plně hašené vápno dolomitické	S2			

¹⁾ Hodnoty jsou uvedeny v hm. %. Pro nehašené vápno platí přímo, u nehašeného vápna vápenné kaše po odpočtu volné a vázané vody.

²⁾ Vyhoví-li zkoušce objemové stálosti podle ČSN EN 459-2, připouští se až 7 %.

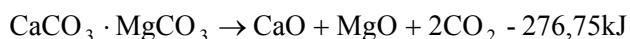
Výroba vzdušného vápna

Výroba vzdušného vápna probíhá ve dvou stupních. Nejprve se pálením rozemletých vápenců, dolomitických vápenců nebo dolomitů připraví pálené vápno (obchodně též označované jako vápno nehašené) – tradiční druhy viz tab. 9. Z chemického hlediska je pálené vápno tvořeno převážně oxidem vápenatým (CaO) vzniklým dekarbonací uhličitanu vápenatého



Dekarbonatace uhličitanu vápenatého začíná probíhat již od 600 °C. Ve výrobních zařízeních (pecích) se provádí při teplotě 900 až 1100 °C, aby celý proces probíhal dostatečně rychle.

Dekarbonatace uhličitanu hořečnatu-vápenatého (dolomitu) probíhá podobně. Postačí však o něco nižší teplota



S vyšší teplotou a vyšší rychlostí výpalu vzrůstá podíl hutnější a méně reaktivní struktury a výsledný produkt je označován jako tvrdě pálené vápno. Toto vápno se dobře hodí pro výrobu autoklávovaného pórobetonu. Pro přípravu omítkových malt je vhodnější měkce pálené vápno, které je reaktivnější.

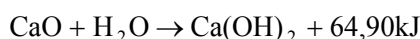
Tab. 9: Tradiční druhy páleného vápna podle velikosti částic[11]

Druh vápna	Frakce	Nadsítné (%)	Obsah zrn > 0,2 (%)
kusové	6,3/neurčeno		
drcené	0/25	5	
práškové	0/3,1	5	
hrubě mleté	0/2,5	3	
jemně mleté	0/0,2	8	
velmi jemně mleté	0/0,09	8	2

Při výraznějším překročení správné teploty výpalu vzniká mrtvě pálené vápno, které pak jen obtížně reaguje s vodou.

V současnosti se u nás pálené vápno vyrábí prakticky výhradně v kontinuálně pracujících šachtových pecích. V Americe se k výrobě používají také rotační pece, které jsou však energeticky náročnější.

Před použitím se pálené vápno hašením převádí na hydroxid vápenatý. Silně exotermickou hydratační reakcí vzniká z oxidu vápenatého hydroxid vápenatý a zároveň dochází k rozpadu původních zrn oxidu na řádově menší zrnka hydroxidová



Mokrý hašení spočívá ve skrácení vrstvy páleného vápna vodou v ploché otevřené nádobě zvané hasnice (karb). Celý proces vyžaduje jistou řemeslnou zručnost, protože nejlepší produkt se získává při hašení prováděném takovou rychlostí, aby teplota reakční směsi byla těsně pod bodem varu vody. Na 100 kg páleného vápna se při hašení dává 240 až 320 litrů vody.

Vzniklé vápenné mléko se po ukončení reakce přepouští (přes síto) do odležovací jámy, ve které ztratí vsáknutím přebytečnou vodu a vznikne vápenná kaše bílé nebo šedé barvy. Vápenná kaše je fakticky suspenzí hydroxidu vápenatého obsahující 30 až 55 % pevné fáze. Objemová hmotnost vápenné kaše se pohybuje mezi 1200 až 1350 kg·m⁻³.

Voda je ve vápenné kaši sorbována na povrch zrněk hydroxidu vápenatého, který se mineralogicky označuje jako portlandit. V důsledku oddálení portlanditových zrněk vrstvičkami sorbované vody nabývá vápno na objemu. Toto zvětšení se nazývá vydatnost vápna a je do určité míry i jakostním ukazatelem, protože vápno s větší vydatností lépe váže (vytváří soudržnější maltu). Z jednoho kilogramu vápna má vzniknout nejméně 2,6 litru vápenné kaše.

Při příliš pomalém hašení způsobeném přílišným množstvím vody se hašená směs dostatečně neprohřeje. V důsledku toho neprobíhá reakce dostatečně rychle a nedochází k rozpadu části zrn (utopené vápno). Nekvalitní produkt vzniklý naopak příliš rychlým mokrým hašením

prováděném s nedostatečným množstvím vody má typickou nahnědlou barvu (spálené vápno). V obou případech zůstává v kaši určitý podíl nedohašeného oxidu vápenatého.

Jestliže není vápno dokonale vyhašeno, dochází k jeho dohašování až v maltě, což se nepříznivě projevuje zejména v omítkách. Dodatečné hašení částic vápna provázají objemové změny vedoucí k poškození povrchu omítky trhlinkami, dolíčky nebo puchýřky. Může dojít i k oddělení části vrstvy omítky od podkladu. Mokrý způsob hašení způsobil v minulosti mnoho očních úrazů. Při správném provádění však poskytuje velmi kvalitní vápennou kaši, která se dobře uplatní i při náročných restaurátorských zákrocích na historických stavbách.

Nejkvalitnější vápenná kaše se získává dlouhodobým uložením. Takzvané šestileté vápno je minimálně 6 let uleželé v podzemních nádržích, obložených dřevem a vybraných automatickým zvlhčovacím systémem.

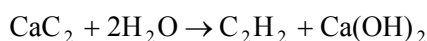
Podstatou zvýšené kvality uleželého vápna jsou rekrystalizační procesy, které vedou k tvorbě menších zrn. Podobného efektu je možné docílit použitím vhodného dispergačního zařízení, ve kterém se původní agregáty krystalického portlanditu mechanicky rozruší.

Modernějším a dnes zcela převažujícím způsobem přípravy hydroxidu vápenatého je suché hašení, které se uskutečňuje ve speciálním mísícím zařízení. V tomto zařízení nazývaném hydrátor se na oxid vápenatý působí vodou dávkovanou přibližně v dvojnásobku stechiometrického množství. Na 100 kg páleného vápna při tomto způsobu hašení připadá asi 65 až 70 l vody. Přebytková voda přesahující teoretickou spotřebu odchází ve formě páry. Výsledným produktem je práškovitý vápenný hydrát, který je skladovatelný až 6 měsíců a z něhož se vápenná kaše v okamžiku spotřeby snadno připraví přidáním potřebného množství vody[11].

Ve zcela čerstvé kaši připravené z vápenného hydrátu je dostatečný podíl nejjemnějších zrn. Jejich podíl v kaši postupně vzrůstá v důsledku rekrystalizačních procesů. Proto je vhodné před přípravou omítkové malty nechat vápennou kaši tak týden v klidu odležet.

Protože hydratace oxidu hořečnatého probíhá jen neochotně, můžeme se v praxi setkat s dolomitickým polohašeným vápnem, které obsahuje vedle Ca(OH)_2 pouze nevyhašený oxid hořečnatý (je prakticky bez Mg(OH)_2).

Zvláštní druh vápenné kaše představuje karbidové vápno, které odpadá při výrobě acetylenu z karbidu vápenatého



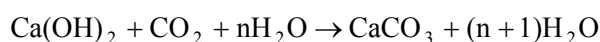
Z jedné tuny karbidu vápenatého vzniká skoro 2,5 tuny vápenné kaše. Tam, kde nebyla na závadu tmavší barva způsobená zbytky koksu, byla tato kaše použitelná jako laciné vápenné pojivo. Soudobé chemické továrny však karbidové vápno už většinou neprodávají. Původně odpadní vápenná kaše jim slouží jako surovina pro další výroby[16].

Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna

Tuhnutí vápenné malty probíhá jako sesychání koloidního gelu vápenného pojiva. Tuhnutí je vyvoláno odpařováním přítomné vody a malta ze vzdušného vápna tedy pod vodou vůbec netuhne. Odpařující se voda uniká z mezizrnných prostorů kapilárního charakteru a účinkem kapilárních sil dochází ke shlukování submikroskopických částic hydroxidu vápenatého a jejich následného srůstu.

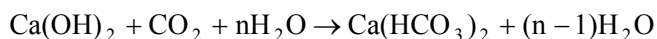
Rozpustnost Ca(OH)_2 není zanedbatelná (při 20 °C se v 1 dm³ vody rozpouští 1,6 g hydroxidu vápenatého), a ztuhlá struktura proto není trvale vodovzdorná.

Rekrystalizační a růstové procesy se podílejí i na tvrdnutí vápenné malty. Hlavní složkou vytvrzování však je karbonatace (uhličitánové tvrdnutí). Ke karbonataci dochází působením vzdušného oxidu uhličitého



Karbonatace vyžaduje přítomnost alespoň malého množství vody v tvrdnoucí maltě a vzhledem k malé koncentraci (0,03 obj.%) CO_2 ve vzduchu probíhá jen pomalu.

Karbonatační reakcí vzniká z hydroxidu vápenatého uhličitán vápenatý a vytvrzená vápenná malta nabývá charakteru vápencového slepence. Ani pak však není trvale odolná vodě. Navině je zřejmě porozita vzniklé struktury, rozpouštění ještě nezkarbonatované části vápna a možnost přechodu uhličitánu vápenatého na rozpustnější hydrogenuhličitán účinkem oxidu uhličitého přítomného ve vodě



Při stejném obsahu oxidu uhličitého se jako a agresivnější projevuje voda s nízkým obsahem vápenatých solí (voda měkká).

Karbonatace do hlubších vrstev malty je proces řízený rychlostí průniku (difuzí) oxidu uhličitého a tloušťka zkarbonatované vrstvy vzrůstá lineárně s druhou odmocninou stáří omítky. Jeden měsíc bývá považován za dobu dostatečnou k tomu, aby vápenná omítka ztratila v bezprostřední blízkosti svého povrchu alkalický charakter. Po jednoměsíčním zrání je proto možné místnosti opatřené vápennými omítkami vymalovat, aniž by hrozilo poškození křehkého pojiva malířské hmoty[10].

Zkoušení vzdušného vápna

Pevnost vzdušného vápna není předepsaná a nekontroluje se. U nehašených vzdušných vápen se kontroluje objemová stálost po hašení, vydatnost vápna a aktivita vápna. Platné postupy ke zkoušení shrnuje ČSN EN 459-2.

Objemová stálost se prokazuje pouze u bílého vápna a dilatace musí vyhovět předepsaným hodnotám.

Aktivita se podle normy ČSN EN 459-2 zjišťuje z teplotní křivky získané při hašení vápna v předepsaném měřicím přístroji. Udává se čas, za který je dosaženo 80 % z celkové hydratace.

Aktivita může být alternativně charakterizována také časem potřebným k dosažení určité konkrétní teploty. S tímto způsobem určování aktivity se můžeme často setkat v technických podmínkách výrobců nebo zpracovatelů. Například u vápna pro výrobu pórobetonu se doporučuje dosažení teploty 60 °C během 6 až 15 minut hašení[16].

3.1.3 Hydraulické vápno

K tradiční výrobě hydraulického vápna se používají jílovité vápence (vápencové slíny) obsahující kromě CaO také větší obsahy hydraulických oxidů. Výpal se provádí při teplotě pod 1250 °C s následným hašením na prach (rozhašování). V případě silně hydraulických vápen s $M_H < 3$ se rozhašování neprovádí, protože v nich je obsah volného CaO relativně malý a tato vápna se svými vlastnostmi podobají cementům[10].

Dominantní složkou odpovědnou za hydraulické vlastnosti hydraulického vápna je křemičitan dvojjápenatý (dikalciumsilikát).

Pojivo, ve kterém vzniká dikalciumsilikát přímo pálením vhodných surovin (např. méně čistých vápenců), se podle ČSN EN 459-1 označuje jako přirozeně hydraulické vápno a jeho jednotlivé druhy se značí zkratkou NHL (*natural hydraulic lime*) doplněnou číslicí, udávající třídu podle tlakové pevnosti v MPa.

Podle stejné normy se zavádí doplňkové označení písmenem Z pro přirozené hydraulické vápno s příměsí. Takto označené přirozené vápno může obsahovat až 20% vhodných pucolánových nebo hydraulických látek.

Číslo normy je součástí celého označení, které pro přirozené hydraulické vápno s pucolánovou příměsí vypadá např. takto: EN 459-1 NHL 3,5 Z.

Za přírodní pucolány se dnes považují všechny přírodní hydraulické příměsi (tras, pemza, sopečný tuf, tufity, křemelina, spongilit, zeolity), i když původně byl tímto názvem označován pouze sopečný popel z okolí Vesuvu. Název pochází od starověkého přístavu Puzzuoli, ve kterém se již 100 let před n. l. s touto přísadou čile obchodovalo.

Nejpoužívanější umělý pucolán je elektrárenský popílek. Na nejúčinnější pucolánovou příměs jsou používány velmi jemné křemičité úlety vznikající (původně jako obtížný odpad) při metalurgických procesech.

Pro přírodní i umělé pucolány je charakteristické, že sice se samotnou vodou nereagují, účinkem hydroxidu vápenatého však nabývají vlastností hydraulického pojiva.

Kromě výpalu jílovovápenaté suroviny se k výrobě hydraulického vápna dá použít i odlišný způsob, spočívající ve společném mletí kusového páleného vzdušného vápna s vhodnou příměsí, která do mleté směsi potřebné hydraulické oxidy dodá. Takto vyrobené pojivo se nazývá prostě hydraulické vápno a v normě ČSN EN 459-1 se označuje jako HL - označení a třídy jsou

uvedeny v tab. 10. Jako latentně hydraulickou příměs je možné kromě pucolánů použít také jemně mletou vysokopecní strusku[16].

Druh použité hydraulické příměsi může být zmíněn v názvu vápna (vápno pucolánové nebo vápno struskové).

Hydraulická vápna se používají hlavně v maltách, i když je možné s jejich použitím připravit i betony nižší třídy. K plnému využití vazebných vlastností je třeba po celou dobu hydratace křemičitanových složek zabezpečit dostatek vody, na což je třeba dbát hlavně u omítek[16].

Hydraulická vápna byla oblíbeným pojivem pro suché maltové směsi na vnější omítky a používala se i pro vápenné malty pro zdění.

Tab. 10: Označení a třídy hydraulických vápen (ČSN EN 459-1)

Označení	Značení	Volné vápno ¹⁾	Obsah SO ₃ ^{1,2)}
Hydraulické vápno 2	HL 2	≥ 6	< 3
Hydraulické vápno 3,5	HL 3,5	≥ 6	< 3
Hydraulické vápno 5	HL 5	≥ 3	< 3
Přírozené hydraulické vápno 2	NHL 2	≥ 15	< 3
Přírozené hydraulické vápno 3,5	NHL 3,5	≥ 9	< 3
Přírozené hydraulické vápno 5	NHL 5	≥ 3	< 3

¹⁾ Hodnoty jsou uvedeny v hm. %. Platí po odečtu volné a vázané vody.

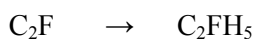
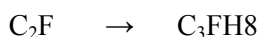
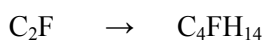
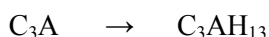
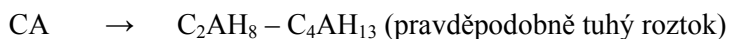
²⁾ Vyhoví-li zkoušce objemové stálosti podle ČSN EN 459-2 (při uložení 28 dní ve vodě), připouští se až 7 %.

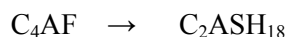
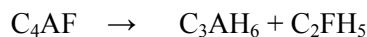
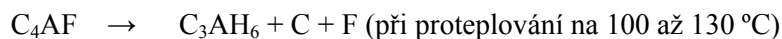
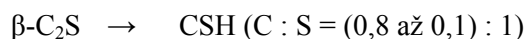
V současné době se u nás hydraulické vápno nevyrábí, což nesou nelibě zejména památkáři. V případě potřeby je však možné získat hydraulické vápno z dovozu. K tradičním výrobcům patří Anglie.

V běžné stavební praxi se hydraulické vápno nahrazuje cementem nižší třídy (cementem pro zdění) nebo cementovápenným pojivem.

Mineralogické složení a vlastnosti složek u hydraulických vápen jsou mnohem méně objasněny než je tomu u portlandských cementů, jejichž jakost také tak nekolísá, jak je tomu u hydraulických vápen. Proto můžeme jen teoreticky uvažovat, které sloučeniny by při tuhnutí a tvrdnutí těchto maltovin mohly vznikat. Nemůžeme však přesně říct, jaké sloučeniny, v jakém množství a za jakých podmínek při zpracování určitých hydraulických vápen vznikají.

Přehled možných sloučenin obsažených v hydraulických vápnech a možnosti vzniku příslušných hydrátů při jejich tuhnutí a tvrdnutí se uvádí zpravidla takto[20]:





Dále byly ještě zjištěny kromě Ca(OH)_2 ještě C_4AH_{13} (hexagonální), CSH (fáze podobná tobermoritu) a $\text{C}_3\text{A}(\text{C}\hat{\text{S}}\text{H}_2)_3\text{H}_{32}$ (ettringit).

Pro zkrácenou formu zápisu chemických vzorců platí tzv. cementářská notace (viz výše), kde Al_2O_3 se zapisuje jako A, CaO jako C, Fe_2O_3 jako F, H_2O jako H, S jako SiO_2 , $\bar{\text{S}}$ nebo $\hat{\text{S}}$ (typologicky dostupnější) pro SO_3 . Takže např. $\text{CA} = \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{C}_2\text{AH}_8 = 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ atd.

3.1.4 Cement

Základní rozdíl mezi výrobou hydraulického vápna a výrobou portlandského cementu spočívá v překročení slinovací teploty rozžhavené minerální násady. V důsledku zdánlivě čistě fyzikálního procesu slinování dochází při teplotách 1300 až 1400 $^\circ\text{C}$ ve slinovaném materiálu k hlubším chemickým změnám, jejichž důsledkem je vznik trikalciumpilokátu (alitu), který se pak v cementu stává nejvýznamnějším hydraulicky aktivním minerálem.

Slinovací proces způsobuje spékání původně práškovité násady. Postupným nabalováním rozžhavených částic procházejících zvolna rotující pecí vzniká slínek v podobě až několikacentimetrových tvrdých valounků.

Slínek, který je základní surovinou pro další výrobu cementu, obsahuje především křemičitany (silikáty) a hlinitany (alumináty) vápenaté. Jedná se o sloučeniny podobné přírodním horninotvorným minerálům. S ohledem na tuto skutečnost se sloučeniny tvořící slínek označují jako slínkové minerály.

Slínek se po částečném vychladnutí drtí a poté se nechává vychladnout ve skladovacích slínkových silech. Dobře, po kterou je slínek v těchto silech, se už dnes nepřipisuje takový význam jako dříve a kapacita sil se volí jen taková, aby spolehlivě vyrovnávala výrobní výkyvy.

Ze skladovacích prostor se slínek průběžně odebírá a společně s přísadou 2 až 6 % sádrovce (přírodního sádrovce, sádrovcových střepů z použitých sádrových forem, průmyslového odpadního sádrovce) se mele na definitivní jemnost, čímž vzniká jednosložkový (portlandský) cement.

Sádrovec slouží v cementu jako regulátor rychlosti tuhnutí.

Ke stejnému účelu je možné použít i přírodní anhydrit, sádrovci se však většinou dává přednost. Požadavky na kvalitu sádrovce i anhydritu předepisuje ČSN 72 1206.

Kromě sádrovce se mohou (v množství nepřesahujícím 1 % z hmotnosti cementu) přidávat i vedlejší přísady, např. intezifikátory mletí nebo hydrofobní přísady.

Výsledkem závěrečné mlecí operace je jemně práškovitý produkt s měrným povrchem 225 až 400 m²·kg⁻¹. Je dopravován do skladovacích cementových sil, ze kterých se pak podle potřeby dávákuje buď do přepravních aut, resp. vagónů, nebo na pytlovací linku.

Na konci 80. let se u nás ročně vyrábělo skoro 7 Mt cementu. V současnosti se v Česku ročně vyrobí 4 Mt cementu. Ve stejném období se podařilo snížit energetickou náročnost výroby 1 t slínku z 7 000 MJ na 3 000 MJ[16].

Složení slínku

Slínkových minerálů je sice možné ve slínku identifikovat okolo dvaceti, za prakticky významné jsou však považovány jen čtyři z nich. Jsou to: trikalciumsilikát (křemičitan trojvápenatý), dikalciumsilikát (křemičitan dvojvápenatý), trikalciumaluminát (hlinitan trojvápenatý) a tetrakalciumaluminátferit (hlinitoželezitan čtyřvápenatý). Tyto čtyři sloučeniny (tvoří dohromady přes 90 % z celkové hmoty slínku) se v rozhodující míře podílejí na vlastnostech cementu, který se ze slínku vyrábí.

Výroba cementu je charakteristická vysokými teplotami a přítomností kyslíku. Při tvorbě slínkových minerálů se proto všechny zúčastněné prvky nacházejí v podobě oxidů. To umožňuje považovat oxidy za základní stavební kameny cementového slínku.

Vzorce slínkových silikátů proto často rozepisujeme jako komplexní sloučeniny těchto "mateřských" oxidů. Křemičitan trojvápenatý je možné zapsat jako 3CaO·SiO₂. Křemičitan dvojvápenatý se rozepisuje jako 2CaO·SiO₂. Hlinitan trojvápenatý dostává podobu 3CaO·Al₂O₃. A konečně hlinitoželezitan čtyřvápenatý je možné vyjádřit jako 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃. Opět se pro zkrácení zápisu využívají cementářské vzorce spolu se slovními mineralogickými názvy jednotlivých složek (viz tab. 11).

Tab. 11: Přehled hlavních složek v cementářském slínku

Název	Vzorec	Slovní označení	Obsah (%)	Hydratační teplo (kJ·kg ⁻¹)	Hydratace
trikalciumsilikát	C ₃ S	alit	35 – 75	500	rychlá
dikalciumsilikát	C ₂ S	belit	5 – 40	250	střední
tetrakalciumaluminátferit	C ₄ AF	brown-millerit (celit)	9 – 14	420	rychlá
trikalciumaluminát	C ₃ A	amorfní fáze	3 – 15	910	velmi rychlá
oxid vápenatý	CaO	volné vápno	< 4	1160	pomalá
oxid hořečnatý	MgO	periklas	< 6		pomalá

Každá z těchto složek nějak ovlivňuje výsledné vlastnosti cementu tím, že vnáší do něj svoje charakteristické vlastnosti.

Trikalciumsilikát (alit) nabývá pevnosti převážně v počáteční době do 28 dní. Jeho vyšší obsah je proto žádoucí pro rychlé dosažení pevností umožňujících navázat další operace (od bednění konstrukce). Alitový cement je proto všeobecně používaným typem cementu. Rovněž rychlovazné cementy mají obsah C_3S co nejvyšší.

Dikalciumsilikát (belit), který z větší části vytvrzuje naopak až po 28 dnech, se ve zvýšené míře uplatňuje v belitovém cementu s nízkým hydratačním teplem, jenž se používá při betonáži mimořádně masivních konstrukcí (přehradní hráz, základová deska jaderné elektrárny), kde je zapotřebí delší dobu k postupnému odvodu tepla vyvinutého při hydrataci.

Specifickou vlastností trikalciomaluminátu je jeho citlivost na dodatečné působení síranů. V síranovzdorných cementech, určených zpravidla pro beton do základů stavby, se musí obsah trikalciomaluminátu snižovat[16].

Z těchto skutečností vychází americká výrobní norma ASTM C 150 (*Standard Specification for Portland Cement*), která zavádí pět druhů cementu (tab. 12). Jednotlivé druhy jsou označeny římskými číslicemi I až V a liší v mineralogickém složení slínku. Doplnkové písmeno (a) se používá pro druhy s provzdušňující přísadou (Ia, IIa, IIIa). Celé značení nemá žádnou spojitost se značením podle ČSN EN 197-1, kde římské číslice a doplňková písmena označují jednotlivé vícesložkové cementy.

Tab. 12: Označování portlandských cementů obvyklé v USA (ASTM C 150, 2002)

Druh cementu podle ASTM C 150	I	II	III	IV	V
trikalciiumsilikát (%)	55	51	57	28	38
dikalciumsilikát (%)	19	24	19	49	43
trikalciomaluminát (%)	10	6	10	4	4
tetralciomaluminátferit (%)	7	11	7	12	9
speciální funkce	není požadována	střední síranová odolnost	vysoká počáteční pevnost	nízké hydratační teplo	vysoká síranovzdornost

V Evropě se jako cementy s nízkým hydratačním teplem používají vícesložkové cementy. Podle normy ČSN EN 14216 to mohou být cementy vysokopecní (VLH III/B, VLH III/C), pucolánové (VLH IV/A, VLH IV/B) a směsné (VLH V/A, VLH V/B). U těchto cementů je zavedena jedna třída normalizované pevnosti 22,5. Hydratační teplo nesmí překročit charakteristickou hodnotu 220 J/g, pro stanovení podle ČSN EN 196-8 po 7 dnech nebo podle ČSN EN 196-9 po 41 hodinách (oba zkušební postupy jsou rovnocenné).

Hydratace samotného trikalciomaluminátu probíhá tak rychle, že by ztěžovala zpracování čerstvého betonu. Právě kvůli trikalciomaluminátu se do cementu přimísí sádrovec, který rychlost hydratace C_3A zpomaluje.

Malé množství oxidu vápenatého je v cementovém slínku přítomno v nevázané formě jako volné vápno. S ohledem na teplotu výpalu cementového slínku se jedná o mrtvě pálené vápno, které reaguje s vodou jen neochotně. K jeho dohašování proto dochází až po dlouhé době a

objemový nárůst uvnitř vytvrzeného cementu, vyvolaný tvorbou Ca(OH)_2 , vede ke tvorbě trhlin. Přípustné množství volného vápna je proto omezeno na 4 %.

Ze stejného důvodu je nežádoucí větší obsah hořčíku, který v cementovém slínku vystupuje převážně jako volný oxid hořečnatý (periklas). Oxid hořečnatý rovněž hydratuje jen neochotně a jeho hydratace může vyvolat vznik trhlin. Množství MgO je proto limitováno hodnotou 6 %.

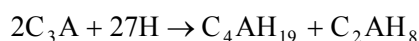
Hydratační reakce

Hned v úvodu je vhodné poznamenat, že průběh hydratačních reakcí je závislý nejen na samotném mineralogickém složení cementu, ale také na jemnosti mletí, množství záměsové vody, teplotě a přítomnosti dalších přísad či příměsí[10].

U běžně mletých cementů hydratuje pouze asi 15 % cementu. Ke zbývajícím částem cementových zrn se už voda přes vzniklé hydratační produkty nedostane a tato část cementu zůstává uzavřena v hydratované struktuře v původní podobě. Fakticky slouží jako plnivo.

V té části cementu, ve které probíhají hydratační reakce, reagují jednotlivé slínkové minerály často vícestupňovým mechanismem (následné reakce) nebo několika mechanismy probíhajícími současně (konkurenční reakce). I z tohoto důvodu mají hydratační tepla uvedená v tab. 11 jen přibližné hodnoty a v jiných pramenech je možné nalézt i čísla poněkud odlišná[16].

Hydratační reakce samotného trikalciumaluminátu, vedoucí ke tvorbě pevných a nerozpustných hydroaluminátů, je příliš rychlá. Ve skutečnosti se jedná o celý komplex hydratačních reakcí, přičemž dominantní první krok můžeme zjednodušeně zapsat jako

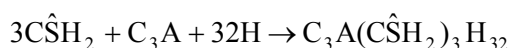


Jako další hydroaluminát vzniká také C_2AH_2 a za účasti vápna také C_4AH_{13} . Následně vzniká v aluminátové fázi kubický C_3AH_6 . Vzniklé hydroalumináty velmi účinně omezují pohyb sousedních zrn a mají hlavní podíl na tuhnutí cementu.

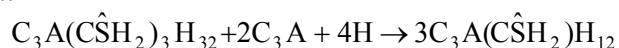
Při praktickém používání cementu se proces tuhnutí cementu zpomaluje, aby se zajistila doba potřebná pro výrobu betonové směsi, pro její dopravu, uložení a zpracování.

potlačení rychlosti tvorby hydroaluminátů se používají konkurenční hydratační reakce probíhající za účasti $\text{C}\hat{\text{S}}\text{H}_2$ (sádrovce). Pro tento účel se sádrovec do cementu přidává již ve výrobě.

Pokud je v reakční směsi volný sádrovec, dochází přednostně ke tvorbě komplexního trisulfátu (ettringitu), enormně bohatého na krystalovou vodu



Po spotřebování sádrovce vytváří ettringit s přebytečným trikalciumaluminátem komplexní hydratovaný monosulfát



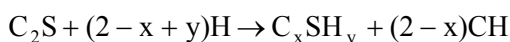
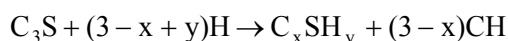
Zpomalující účinek sádrovce spočívá v tom, že se na povrch zrn trikalciualuminátu okamžitě vytváří jemně krystalický povlak trisulfátu, který však neomezuje pohyblivost zrn a neovlivňuje zpracovatelnost. Tento povlak zabraňuje další hydratační reakci trikalciualuminátové zrna.

Podobná reakce sádrovce s C_4AF je sice také možná, probíhá však daleko pomaleji. Nepředstavuje proto pro hydrataci C_4AF vážnou konkurenci. Produktem hydratace C_4AF jsou normální hydrohlinitoželezitany.

Hydratace dikalciumsilikátu i trikalciiumsilikátu vede navzdory rozdílnému průběhu, k prakticky stejným produktům - hydratovaných křemičitanů vápenatých. Připsat těmto produktům nějaký jednoznačný vzorec je obtížné, protože v průběhu hydratační reakce fakticky vzniká hydratovaný gel, z něhož nelze jednotlivé sloučeniny (hydrosilikáty) vydělovat.

Stavební částice tvořící hydrosilikátový gel mají nejméně tisíckrát větší povrch než původní cement, a proto mezi nimi působí značné přitažlivé síly srovnatelné se silou chemických vazeb.

Trikalciumsilikát i dikalciumsilikát se v průběhu hydratace rozkládají a uvolňují hydroxid vápenatý, který se v cementářské notaci zapisuje jako CH. Celý jev lze zjednodušeně popsat pomocí těchto rovnic



Při hodnotách $x = 0,5 - 1,5$ a hodnotách $y = 0,5 - 2,5$ popisují výše uvedené rovnice vznik mineralogické fáze C-S-H (I) vytvářející lístkovitou strukturu. Při $x = 1,5 - 2$ a $y = 1,0 - 4,0$ je výsledné složení charakteristické pro fázi C-S-H (III), která má podobu tenkých dutých svazčitých vláken.

Reakční přeměna pravděpodobně probíhá převážně v tuhé fázi a koloidní gel se objevuje, aniž by před tím došlo k rozpuštění původně přítomných slínekových minerálů. Určitý podíl rozpouštěcích a rekrystalizačních procesů je sice zřejmě také přítomen, ale reakce v pevné fázi (topochemický proces) je dominantní.

Při rozboru chemických reakcí, které probíhají při hydrataci cementu, nelze opomíjet fakt, že jde o velmi komplexní proces, ve kterém se uplatňují chemické, fyzikální i mechanické jevy. V žádném případě nestačí k uspokojivému popsání tohoto procesu několik nebo několik desítek chemických rovnic, je třeba zohlednit i fyzikální a mechanické aspekty procesu.

Vyčerpávající model, který by zachycoval všechny aspekty chování v cementu přítomných látek, sice stále ještě překračuje možnosti dnešních počítačů, byly však již vypracovány zjednodušené modely, které v popisu hydratace představují značný pokrok.

V principu je možné buď zanedbat minoritní pochody, jež jsou za určitých podmínek stálé, nebo použít model na rozlišovací úrovni, kterou lze ještě výpočetně zvládnout.

Pro modelování hydratace jsou přitom klíčové čtyři faktory: zastoupení slínkových minerálů v cementu, křivka zrnitosti cementu, vodní součinitel a teplota. Významně do procesu hydratace zasahuje ještě vlhkost prostředí, přísady (např. mikrosilika) a volné alkálie.

Výrazné úspěchy při popisu hydratace byly dosaženy nejprve s dvou rozměrnými modely, na jejichž základě byly simulovány procesy vzniku hydratačních produktů, na kontaktu cementu s vodou, následné difuzní pochody a nukleace v pórech systému.

V současné době se již pracuje s třírozměrným simulačním systémem založeným na představě dostatečně malých objemových jednotek - voxelů.

Voxel (*volume element*) představuje homogenní mikroskopickou jednotkovou oblast, která se účastní rozpouštění, transportu nebo chemické reakce.

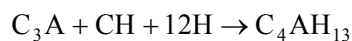
Výchozí data potřebná ke konstrukci modelu se získávají extrapolací dvojrozměrných snímků získaných na řezech cementu elektronovým mikroskopem. Na stejných řezech se na základě digitální analýzy rentgenového obrazu určuje rozložení základních slínkových minerálů.

Model hydratace uvažuje základní slínkové minerály, tvorbu C-S-H gelu, vliv hydroxidu vápenatého a porozitu systému. Namísto opravdových tvarů zrn cementu se při zpracování modelu pro zjednodušení uvažují digitální koule s distribucí podle křivky zrnitosti cementu[16].

Při zkouškách tuzemského cementu byl kupříkladu použit model zpracovávající hydratační proces na úrovni voxelů s ohledem na 38 různých chemických látek, které se mohou během hydratace vyskytovat (Šmilauer, V., Bittnar, Z., 2003).

Speciální algoritmus hydratačního modelu určuje pravidla rozpouštění, nukleace, difuze a pohybu voxelů. Výsledky jsou interpretovány v podobě zvětšeného obrazu reprezentativní krychle o hraně $5 \cdot 10^{-6}$ mm. Jednotlivé druhy voxelů se barevně odlišují, a je tak možné získat charakteristický, dobře přehledný obraz simulované mikrostruktury.

Množství hydratací uvolněného hydroxidu vápenatého je poměrně značné. Ze 100 kg portlandského cementu se při hydrataci uvolní asi 30 kg Ca(OH)_2 . Jen malá část uvolněného hydroxidu vápenatého se může spotřebovat na tvorbu aluminhydrátu, například podle rovnice



Hydroxid vápenatý zůstává tedy převážně volný a vytváří ve vytvrzeném cementu alkalické prostředí, které jen zvolna zaniká tím, jak hydroxid vápenatý karbonatuje (přechází účinkem vzdušného CO_2 na uhličitán vápenatý).

V nezkarbonatovaném cementu je alkalita vody v pórech na úrovni 12,5 pH, což odpovídá nasycenému roztoku hydroxidu vápenatého. V takto alkalickém prostředí neprobíhá koroze oceli, což je významné pro výrobu betonu se železnou výztuží.

Hydroxid vápenatý vyplňuje část prostoru mezi krystalky hydrosilikátového gelu, a pokud je odtamtud odstraněn, stává se struktura cementu poréznější a méně pevnou. Rozpouštění Ca(OH)_2 při styku cementu s vodou chudou na minerální látky (hladová voda) nebo vodou kyselou je nejběžnějším typem koroze betonu.

V neposlední řadě je hydroxid vápenatý významný i pro schopnost další reakce s jemně dispergovanými hydraulickými oxidy (pucolánová reakce). Touto reakcí může vzniknout další podíl pevného nerozpustného gelu kompatibilního s hydrosilikátovým gelem vznikajícím ze slínkových minerálů. Tato skutečnost umožňuje nahrazovat část cementového slínku přírodními nebo umělými pucolány.

Při rozboru hydratační reakce nelze vynechat objemové zastoupení jednotlivých složek ve výchozí cementové kaši a ve výsledném cementovém kameni (hydratovaném cementu).

Voda, která je vázána ve formě hydratačních produktů, zaujímá menší objem než voda nevázaná. Dochází tak ke snížení objemového podílu vody a celkového objemu vůbec. Důsledkem této skutečnosti je smršťování cementu při vytvrzování.

Nárůst pevnosti hydratujícího cementu je dán chemickým složením a jemností cementu. Jemnější cementy tvrdnou rychleji. Speciální rychlotuhnoucí cementy se proto melou až na 50 m²·kg⁻¹. Dosažení takové jemnosti mletí je však energeticky náročné.

Tvrdnutí cementu probíhá nejintenzivněji během prvního týdne, později se zpomaluje. Dotvrzování cementu sice probíhá po několik let, avšak z praktického hlediska považujeme hodnotu pevnosti dosaženou při teplotě 20 °C po 28 dnech zrání za hodnotu konečnou.

Po této době se určuje jak třída cementu podle ČSN EN 196-1 tak pevnostní třída omítkových či zdicích malt (podle ČSN EN 988-1 a 2) a rovněž pevnostní třída betonu podle ČSN EN 206-1.

Vícesložkový cement

Náhrada části slínku hydraulicky aktivní látkou jiného původu je možná, aniž by došlo ke ztrátě pojivové funkce cementu. Tato skutečnost se v praxi široce využívá.

ČSN EN 197-1 definuje 27 jmenovitě uvedených cementů pro obecné použití a specifikuje složky používané k částečné náhradě slínku. Cementy pro obecné použití se podle této normy označují značkou CEM s dalšími číselnými a písmennými symboly.

Základem CEM cementů je portlandský slínek, který se kombinuje s dalšími hydraulicky aktivními složkami. Celkový obsah aktivního oxidu vápenatého (CaO) a aktivního oxidu křemičitého (SiO₂) musí být v CEM cementech větší než 50 hm.%. Přítomnost neaktivního plniva se připouští jen do 5 %. V tomto množství však plnivo může být i v jednosložkovém (čistě slínkovém) cementu.

Příspěvky nahrazující část slínku se v cementárnách přidávají až na samém konci výrobního procesu. Sádrcový regulátor tuhnutí a hydraulicky aktivní přísada nebo plnivo se melou spolu se slínkem na homogenní prášek obvyklé cementové jemnosti. Vzniklý produkt se označuje jako vícesložkový cement. Nejběžnější jsou dvousložkové cementy připravované z cementářského slínku a vysokopecní strusky. Přehled ostatních používaných složek přináší tab. 13.

Tab. 13: Složky ve vicesložkových cementech[16]

Název složky	Označení	Používá se pro cement druhu
cementový slínek	K	CEM I – CEM V/B
granulovaná vysokopecní struska	S	CEM IIA, CEM II/B, CEM III/A, CEM III/B, CEM III/C, CEM V/A, CEM V/B
přírodní pucolán	P	CEM IIA, CEM II/B, CEM IV/A, CEM IV/B, CEM V/A, CEM V/B
umělý pucolán	Q	CEM IIA, CEM II/B, CEM IV/A, CEM IV/B, CEM V/A, CEM V/B
křemičitý popílek	V	CEM IIA, CEM II/B, CEM IV/A, CEM IV/B, CEM V/A, CEM V/B
vápenatý popílek	W	CEM IIA, CEM II/B
kalcinovaná břidlice	T	CEM IIA, CEM II/B
křemičitý úlet	D	CEM IIA, CEM II/B, CEM IV/A, CEM IV/B
vápenec	L	CEM IIA, CEM II/B
vicesložková směs	M	CEM IIA, CEM II/B
plnivo	F	CEM I – CEM V/B

Klasifikace cementu

Cementy značené CEM se rozdělují do pěti hlavních skupin označených římskou číslicí I až V. Tato číslice udává druh cementu a uvádí se za značkou CEM (po oddělení mezerou), viz tab. 14. U pytlovaného cementu je rozlišujícím znakem mezi jednotlivými skupinami i barva potisku obalu. Úplný přehled všech typů cementů specifikovaných v ČSN EN 197-1 přináší tab. 15.

Za druhovým označením vyznačeným římskou číslicí musí být uvedena hodnota normalizované pevnostní třídy.

Nejnižší normalizovanou pevností třídou je 32,5 (původní národní dodatek zavádějící třídu 22,5 je již zrušen). Následuje třída 42,5 a třída 52,5, která je nejvyšší normalizovanou třídou. Třída cementu je dána pevností v tlaku po 28 dnech, zkoušenou na zlomcích trámečků z cementové malty podle ČSN EN 196-1.

Tab. 14: Základní druhy cementu (ČSN EN 197-1)

Druh cementu	Slovní označení druhu
CEM I	portlandský cement
CEM II	portlandský cement směsný
CEM III	vysokopecní cement
CEM IV	pucolánový cement
CEM V	směsný cement

Má-li cement vysoké počáteční pevnosti, připojuje se za označení třídy ještě písmeno R (rychlavazný cement).

S ohledem na pevnostní třídu je pro cementy obecného použití stanoven i začátek tuhnutí podle ČSN EN 196-3. Cementy pevnostní třídy 32,5 a 42,5 mohou vykazat počátek tuhnutí nejdříve za hodinu po smísení s vodou. U cementů pevnostní třídy 52,5 je přípustný počátek tuhnutí již za 45 minut. (Konec tuhnutí je u všech CEM cementů do 12 hodin.)

Samozřejmě že jednotlivé přísady určitým způsobem modifikují základní vlastnosti jednosložkové portlandského cementu. Portlandský cement (CEM I) má relativně strmý nárůst počáteční pevnosti v tlaku (vhodné použití pro prvky, které potřebujeme rychle odbednit)

Rychlý hydratační proces, při kterém se uvolňuje velké množství hydratačního tepla, se jeví jako výhoda při použití pro nízké teploty (do 5 °C). Je vhodný spíše pro tenkostěnné konstrukce. Pro betonování při záporných teplotách je nejlépe použít portlandský cement třídy 42,5 nebo 52,5 s vysokou počáteční pevností (tedy CEM i 42,5 R nebo 52,5 R).

Portlandský struskový cement (CEM II/A-S, CEM II/B-S) má zvýšenou odolnost vůči agresivnímu prostředí, hydratuje pomaleji, takže je použitelný pro masivní základové konstrukce a betonáž v létě. V prvním týdnu zrání musí být beton z tohoto cementu udržován vlhký – má zvýšený sklon ke smršťování za sucha, portlandský cement s křemičitým úletem (CEM II/A-D) má zvýšenou pevnost v tahu a používá se pro konstrukce, které jsou vedle tlaku namáhané i tahem.

Portlandský pucolánový cement (CEM II/A-P - CEM II/B-Q) se vyrábí ve spodní pevnostní třídě. Přítomnost pucolánu zvyšuje odolnost proti uhličitánovým vodám, odpadním vodám a usnadňuje přípravu vodotěsného betonu,

Portlandský popílkový cement (CEM II/A-V - CEM II/B-W) se vyznačuje dobrou zpracovatelností a vodotěsností. Je použitelný pro stavbu přehrad,

Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí (CEM II/A-I, CEM II/B-T) se používá pro injektážní hmoty.

Portlandský cement s vápencem (CEM II/A-L, CEM II/B-L) odolává plísním a je vhodný pro méně mechanicky namáhané povrchy v potravinářském průmyslu či zdravotnictví.

Portlandský směsný cement (CEM II/A-M, CEM II/B-M), ve kterém jsou různé kombinovány neslínkové složky, může být vyráběn především jako ekonomicky výhodné pojivo.

Vysokopecní cement (CEM III/A, CEM III/B, CEM III/C) je charakteristický pomalým nárůstem pevnosti, malým vývinem hydratačního tepla a vysokou odolností proti agresivnímu prostředí, Typ B se používá i pro konstrukce vystavené síranovým vodám. Typ C se uplatňuje při betonáži konstrukcí před kotli a pecemi a na ochranné konstrukce proti žáru. Je použitelný pro masivní konstrukce i v horkém létě, pevnostně však dosahuje jen nižší třídy.

Pucolánový cement (CEM IV/A, CEM IV/B) má prodlouženou dobu nárůstu pevnosti, Dobře odolává uhličitánovým a slatinným vodám, Je vhodný pro mokré prostředí, snáší i působení mořské vody.

Směsný cement (CEM V/A, CEM V/B) je pevnostně nejslabší, hodí se na nenáročné podlahy a potěry.

Tab. 15: Druhy cementu na všeobecné použití a jejich složení v procentech hmotnosti¹⁾ (ČSN EN 197-1)

Druh cementu	Název cementu	Označení cementu	K	S	D ³⁾	P	Q ⁴⁾	V	W	T	L	Doplňující složky ²⁾
I	portlandský cement	I	95 – 100	~	~	~	~	~	~	~	~	0 – 5
	portlandský struskový cement	II/A-S	80 – 94	6 – 20	~	~	~	~	~	~	~	0 – 5
		II/B-S	65 – 79	21 – 35	~	~	~	~	~	~	~	0 – 5
	portlandský cement s křemičitým úletem	II/A-D	90 – 94	~	6 – 10	~	~	~	~	~	~	0 – 5
		II/A-P	80 – 94	~	~	6 – 20	~	~	~	~	~	0 – 5
	portlandský pucolánový cement	II/B-P	65 – 79	~	~	21 – 35	~	~	~	~	~	0 – 5
		II/A-Q	80 – 94	~	~	~	6 – 20	~	~	~	~	0 – 5
		II/B-Q	65 – 79	~	~	~	21 – 35	~	~	~	~	0 – 5
		II/A-V	80 – 94	~	~	~	~	6 – 20	~	~	~	0 – 5
	portlandský popílkový cement	II/B-V	65 – 79	~	~	~	~	21 – 35	~	~	~	0 – 5
II		II/A-W	80 – 94	~	~	~	~	~	6 – 20	~	~	0 – 5
		II/B-W	65 – 79	~	~	~	~	~	21 – 35	~	~	0 – 5
	portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	II/A-T	80 – 94	~	~	~	~	~	~	6 – 20	~	0 – 5
		II/B-T	65 – 79	~	~	~	~	~	~	21 – 35	~	0 – 5
	portlandský cement s vápencem	II/A-L	80 – 94	~	~	~	~	~	~	~	6 – 20	0 – 5
		II/B-L	65 – 79	~	~	~	~	~	~	~	21 – 35	0 – 5
	portlandský směsný cement	II/A-M	80 – 94	~	~	~	~	6 – 20 ⁵⁾	~	~	~	0 – 5
		II/B-M	65 – 79	~	~	~	~	21 – 35 ⁵⁾	~	~	~	0 – 5
		III/A	35 – 64	36 – 65	~	~	~	~	~	~	~	0 – 5
		III/B	20 – 34	66 – 80	~	~	~	~	~	~	~	0 – 5
III	vysokopecní cement	III/C	5 – 19	81 – 95	~	~	~	~	~	~	~	0 – 5
IV	pucolánový cement	IV/A	65 – 89	~	~	11 – 35	~	~	~	~	~	0 – 5
		IV/B	45 – 64	~	~	36 – 55	~	~	~	~	~	0 – 5
V	směsný cement	V/A	40 – 64	18 – 30	~	~	18 – 30	~	~	~	~	0 – 5
		V/B	20 – 39	30 – 50	~	~	30 – 50	~	~	~	~	0 – 5

¹⁾ Hodnoty v tabulkách se vztahují na hlavní a doplňující složky cementu bez síranu vápenatého a přísad.

²⁾ Jako doplňující složky mohou být použita plniva nebo jedna či více látek, používaných jako hlavní složky, pokud v cementu nejsou jako hlavní složky použity.

³⁾ Obsah křemičitého úletu je limitován do 10%

⁴⁾ Obsah jiných strusek než vysokopecní strusky je limitován do 15%.

⁵⁾ Obsah plniva je limitován do 5%.

3.1.5 Hlinitanový cement

Hlinitanový cement obsahuje více než 35 % Al_2O_3 a jeho tvrdnutí způsobuje hydratace převážně vápenatých hlinitanů (kalciumaluminátů). Vyrábí se pálením suroviny složené z bauxitu a vápence.

Slínkové minerály zastoupené v hlinitanovém cementu jsou CA, C_2A , C_3A_5 , C_3A_2 , C_2AS , C_4AF , C_5A_3 , CS, C_2S a další křemičitany vápenohlinitoželezité.

Pevnost hlinitanového cementu při normální teplotě roste velmi rychle. Za 24 hodin dosahuje beton z hlinitanového cementu až 70 % konečné pevnosti.

Pokud jde o podmínky potřebné pro úspěšné zpracování hlinitanového cementu, lze jako výhodu uvést, že hydratační reakce v hlinitanovém cementu nejsou příliš citlivé na snížení teploty. Beton z hlinitanového cementu lze použít k betonování až do -10°C .

Zcela zásadní zpracovatelskou slabinou hlinitanového cementu je naopak jeho citlivost na vyšší teploty. Hlinitanový cement vyžaduje k dokonalé hydrataci relativně velké množství hydratační vody a jako rychlotuhnoucí pojivo uvolňuje během krátkého času větší část ze svého celkového hydratačního tepla. Souběh těchto dvou skutečností způsobuje, že beton z hlinitanového cementu vyžaduje velmi pečlivé dodatečné provlhčování, a to jakmile začíná tuhnout.

Při teplotách nad 25°C je dostatečné zvlhčování hlinitanového cementu v betonu už velmi obtížné. Vzniká vodní deficit, který má za následek tvorbu málo pevného trikalciumaluminátového hexahydrátu.

Na celkovou nestabilitu a nespolehlivost vytvrzeného hlinitanového cementu má vliv i rychle hydratující C_5A_3 s nestabilní strukturou, která se může projevit snižováním pevnosti betonu s časem.

Jako nejproblematictější se při používání hlinitanového cementu ukázal fakt, že dekahydrát CAH_{10} vznikající hydratací za normální teploty může i po delší době přejít v méně pevný hemihydrát C_3AH_6 , který má zhruba poloviční objem



Přeměna probíhá především v letním období při vyšší teplotě konstrukce. Struktura cementu se pak stává porézní a nepevnou. Po tragickém zřícení tovární haly v roce 1984 byl u nás vydán zákaz dalšího používání hlinitanového cementu pro výrobu betonu nosných konstrukcí.

Protože neobsahuje hydroxid vápenatý, je hlinitanový cement odolnější v chemickém agresivním prostředí než cement portlandský. Vhodný je také pro výrobu žárovzdorných a těsnicích malt[16].

Pro výrobu žárovzdorných hmot se k přípravě hlinitanového cementu může namísto bauxitu použít technický oxid hlinitý, který se pak pálí spolu s vápencem při teplotě přibližně 1500°C na vysokohlinitanový cement. Tento cement je žárovzdorný až do 1750°C .

V roce 2006 byla vydána nová norma pro hlinitanový cement ČSN EN 14647.

3.1.6 Zkoušení hydraulických pojiv

Pro zkoušení cementu CEM platí zkušební normy řady ČSN EN 196.

Splnění základních kvalitativních požadavků na dobu tuhnutí a objemovou stálost se zjišťuje podle ČSN EN 196-3. Stanovením pevnosti, a tedy i třídy cementu se zabývá ČSN EN 196-1.

Problematicke chemického rozboru cementu je věnována ČSN EN 196-2, kterou doplňuje ČSN EN 196-21, zaměřená na stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií.

Norma ČSN EN 196-4 obsahuje způsoby rozdělení a následného kvantitativního stanovení neslínkových složek ve vícesložkovém cementu. S její pomocí je možné určit, o který druh cementu (CEM I - CEM V) se v případě analyzovaného vzorku jedná.

Stanovení jemnosti mletí cementu je předmětem ČSN EN 196-6. Zkouška pucolanity pucolánových cementů se uskutečňuje podle ČSN EN 196-5.

Stanovení hydratačního tepla cementu je možné jednak rozpouštěcí metodou podle ČSN EN 196-8 a jednak metodou semiadiabatickou podle ČSN EN 196-9.

Všechny zkoušky musí být prováděny na správně odebraných a upravených vzorcích. Zásady pro jejich odběr a úpravu shrnuje ČSN EN 196-7.

Ke zkoušení mechanických a zpracovatelských vlastností ostatních hydraulických pojiv se používají normy výše uvedené, existují však i samostatné normy pro zkoušení cementu pro zdění (ČSN EN 413-2) a hydraulického vápna (ČSN EN 459-2) Velkou skupinu nových výrobních a zkušebních norem týkajících se spodních a podkladních vrstev stmelených hydraulickými pojivy představují normy ČSN EN 14227-1 – 14 a normy ČSN EN 13286-1 – 7, ČSN EN 13286-40 – 53.

3.2 Malty

Malta je stavivo, které se připravuje smíšením drobného kameniva, anorganického pojiva, popřípadě i přísad a příměsí a následným rozmícháním vzniklé granulární směsi vodou na požadovanou konzistenci. Tímto postupem může být z výchozích složek malty vyráběna přímo na staveništi (staveništní malta nebo se ke stejnému účelu použije průmyslově předem vyrobená směs anorganických pojiv, plniv, příměsí a přísad (suchá maltová směs), která se na staveništi už pouze rozmíchává s vodou. Třetí možností je výroba kompletní malty (ze všech složek včetně vody) v centrální výrobě. Takto vyrobená malta se pak na místo dalšího použití dopravuje jako mokrá maltová směs[6, 10, 19].

Podle účelu použití rozeznáváme především malty pro zdění a malty pro omítky. Kromě toho se malty používají ke kladení dlažeb a obkladů, ke spárování a k výrobě keramických dílců. Významné jsou i stykové malty, malty používané jako zálivky a malty používané jako sanační či reparační hmoty při úpravě povrchu stavebních konstrukcí.

Vedle jednoduchých granulárních malt s anorganickými pojivy jsou vyráběny i malty s makromolekulárními pojivy nebo malty modifikované těmito pojivy, malty s disperzní vláknitou výztuží, malty injektážní, žárovzdorné, kyselinovzdorné, stínící (barytové) apod.[4, 5, 10].

3.2.1 Složení malt

Kromě hliněných malt, které tuhnou a tvrdnou čistě fyzikálně (koloidním sesycháním), mají běžné současné malty pojivový systém tvrdnoucí chemickou reakcí. Jeho základ tvoří nejčastěji cement a vápno. Pro přípravu malt lze obě tato pojiva použít samostatně i v kombinaci. Malty obsahující cement a vápno se ve starší literatuře označují jako nastavované nebo prodloužené.

nejjednodušší recept pro přípravu malty na staveništi spočívá v suchém smíchání pojiva a plniva v běžné stavební míchačce a následném přidávání vody. Množství přidávané vody se volí podle požadované konzistence malty.

Vápno je nezastupitelným typem pojiva zejména při rekonstrukci stavebních památek. Vlastnosti vápenných malt jsou dány nejen správně vybraným druhem pojiva, ale v případě vzdušného vápna i správným způsobem jeho zpracování, tj. vyhašení.

Jako maltové pojivo pro omítání i zdění lze použít vzdušné vápno vyhašené jako vápenná kaše nebo vápenný hydrát. Vápenný hydrát pro omítkové malty musí být objemově stálý.

Pro malty s vyšší vodotěsností se používalo vápno hydraulické, dnes je běžnější použití hydraulického směsného pojiva na bázi portlandského slínku. Jako pojivo se v maltách používá i přímo cement portlandský CEM I, cement portlandský struskový CEM II/A, B-S a speciální cementy (např. bílý cement).

Částečně hydraulické vápno "středověké kvality" není běžně dostupné. Při obnově památkových objektů může být proto výhodné zvyšovat vodotěsnost vápenné omítky přísadou přírodního pucolánu (tufu, trasu). Není pak nutné používat pojivo vápenocementového typu, které je pro památkářské účely často příliš tvrdé a křehké.

Orientační vztah mezi minimální pevností v tlaku a objemovým složením vápenných nebo vápenocementových malt je v tab. 16, v tab. 17 jsou malty rozděleny dle charakteru pojiva.

Sádra se jako pojivo používá jen v menším rozsahu. Kromě malt s čistě sádrovým pojivem se připravují i malty s kombinovaným vápenosádrovým pojivem[16].

Tab. 16: Jakost malty podle objemu složek[16]

Minimální pevnost v tahu ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	Objemové díly		
	cement	vzdušné vápno	kamenivo
1,0	0	1 – 1,5	4 – 5
1,0	1	1 – 2	6 – 9
2,5	1	1	6
5,0	1	0 – 0,5	3 – 4

Plnivem malty může být přírodní kamenivo, granulovaná vysokopecní struska, škvára, popílek, teracové drtě, kamenivo vyrobené z přírodních surovin (keramzitové kamenivo, expandovaný perlit), slévárenský písek, granulovaný expandovaný polystyren. Pro přípustnost užití určitého typu kameniva je vždy rozhodující, umožní-li při optimální receptuře spolehlivé splnění požadovaných technických vlastností malty.

Tab. 17: Rozdělení malt podle charakteru jejich pojivové složky[10]

Pojivo	Mechanismus vytvrzování pojiva	Hydraulická pojiva
jíl	odpaření vody	žádná
sádra	hydratace	žádná
vzdušné vápno	karbonatace	žádná
hydraulické vápno	karbonatace, hydraulická reakce	střední
vápno s příměsí pucolánů	karbonatace, pucolánová reakce	vysoká
cement	hydraulická reakce	velmi vysoká

Přírodní těžené kamenivo je nejběžnější a jeho druh a zrnitost se volí podle účelu použití malty. Pro malty na výrobu keramických dílců a pro stykové malty se používá zejména frakce 0/4 a 4/8 v předepsaném poměru, pro malty pro zdění, kladení dlažeb, na obklady a pro jádrovou vrstvu omítek frakce 0/4. Pro malty na jemné omítky a ke spárování při tloušťce spáry do 4 mm frakce 0/1.

Při formulaci současných malt se často používají přísady látky přidávané v malém množství vzhledem k hmotnosti pojiva před nebo během míchání malty pro získání zvláštních úprav vlastností. Podobnou funkci mohou plnit příměsi (jemné anorganické materiály), které se mohou přidávat do malty pro zlepšení jejich vlastností nebo k dosažení zvláštních vlastností.

Nejjednodušší plastifikační přísadou do vápenných malt je vhodná hlína, do cementových malt vápenná kaše. Další možnost představují speciální makromolekulární látky přidávané do malty v kapalném či práškovém stavu.

Účelem některých přísad může být úprava doby zpracovatelnosti, resp. rychlosti vytvrzování malty. Tam, kde by malta přicházela do styku s výztuží nebo ocelovými prvky, je výslovně zakázáno užití přísad s obsahem chloridů.

Jako barviva do malt se používají minerální pigmenty a organické práškové nebo kapalné barviva.

Voda na výrobu malt z anorganických pojiv musí být nezávadná, tj. nesmí snižovat pevnost a trvanlivost malt nebo způsobovat skvrny a výkvěty na omítkách. Bez zkoušek lze používat vodu pitnou, vody jiného původu je nutno vyzkoušet obdobně jako vodu do betonu[10, 6].

Návrh maltové směsi

Vzhledem k tomu, že na maltu ve většině případů nejsou kladeny požadavky jako na nosnou část konstrukce, proto také nepoužíváme výpočtových schémat pro stanovení pevnostních charakteristik malty, ale poměry jednotlivých složek stanovujeme empiricky.

Tab. 18: Orientační složení mlat pro omítky a spárování podle objemových dílů[6]

Druh malty podle pojiva	Vápno			Směsné hydraulické pojivo	Cement	Sádra	Přírodní hutné kamenivo
	Vápenná kaše	Vápenný hydrát	Hydraulické vápno				
Vápenná podle úpravy a druhu vápna	1	1	1				3,5 až 4,5 3 až 4 3 až 4
Ze směsného hydraulického pojiva			1				3 až 3,5
Vápenocementová	1,5	2	2		1 1 1		10 až 12 10 až 12 9 až 11
Cementová		(0,1)			1		3 až 3,5
Vápenosádrová	1	1				0,2 až 0,5 0,2 až 0,5	3 až 4 3 až 4
Sádrová		(0,1)				1	0 až 3

Při vypracování výrobních předpisů se přihlíží k výrobnímu zařízení, tedy k obsahu a druhu míchačky, odběrným a dávkovacím zařízením, ke kvalitě kameniva a zejména k nadsítným a podsítným podílům jednotlivých frakcí[6, 19].

V ČSN EN 998-1 jsou uvedeny pokyny pro složení malt pro omítky a spárování. Orientační složení těchto malt podle objemových dílů je uvedeno v tab. 18. Ve většině případů se dávkování stanovuje objemovým poměrem pojiva ke kamenivu. Voda se dávkuje tak, aby zpracovatelnost odpovídala požadavkům ČSN 73 2310 a ČSN 73 3450. V tab. 19 jsou srovnány vlastnosti vápenné malty a malty s hydraulickým pojivem[16].

Normová klasifikace malt

V souladu se starší ČSN 72 2430-1 se podle typu používaného pojiva se rozlišují:

- malty vápenné obyčejné (hrubé) - MV,
- malty vápenné jemné - MVJ
- malty vápenocementové obyčejné (hrubé) - MVC,
- malty vápenocementové jemné - MVO,
- malty pro šlechtěné omítky - MVCO,
- malty vápenosádrové - MVS,
- malty sádrové - MS,

- malty cementové obyčejné (hrubé) - MC,
- malty pro cementový postřík - MCP .

Tab. 19: Srovnání vlastností vápenné malty a malty s hydraulickým pojivem[10]

Vápenná malta	Malta s hydraulickým pojivem
tvrdne chemickou reakcí – karbonatací	tvrdne chemickými – hydraulickými - reakcemi
pomalejší tuhnutí	rychlejší tuhnutí
nižší pevnost	vyšší pevnost
menší mrazuvzdornost	vyšší odolnost mrazu a krystalizujícím solím
lepší adheze k povrchům	nižší porozita – nižší propustnost pro plyny
neobsahuje volné alkálie a síru	menší tendence k deformacím (menší plasticita a flexibilita)
smrštění v průběhu tuhnutí – vznik mikrotrhlin při odpařování vody	signifikanční smrštění v počáteční fázi tuhnutí
pojivo rozpustné ve vodě – v prostředí bohatém na oxid uhličitý (průmyslová a městská zástavba)	pojivo nerozpustné ve vodě

Nověji se průmyslově vyráběné malty třídí na:

- malty pro zdění (ČSN EN 998-2).

Podle složení použitého pojiva se tyto průmyslově vyráběné malty dále dělí na:

- malty ze vzdušných vápen,
- malty ze směsi vzdušného vápna a cementu, u nichž obsah cementu nepřesahuje 50 % celkové hmotnosti pojiva,
- cementové malty a malty ze směsi vzdušného vápna a cementu, u nichž obsah vzdušného vápna nepřesahuje 50 % hmotnosti pojiva,
- malty s jinými hydraulickými pojivy,
- malty se zpozdřovací přísadou.

K 1. 1. 2005 bylo zrušeno všech pět částí ČSN 72 2430 a všechny zkušební normy ČSN 72 2440 až ČSN 72 2454. Po tomto datu se ustanovení ČSN EN 998-1 a 2 přiměřeně využívají i pro staveništní malty[6, 16].

3.2.2 Malty pro vnitřní a vnější omítky

Staveništní příprava omítek výchozích složek se dnes již nedoporučuje. Setkat se s ní můžeme v případě menších svépomocných prací a při některých restaurátorských opravách historických objektů.

Požadavky na průmyslově vyráběné malty pro vnitřní a vnější omítky určuje především ČSN EN 998-1. Norma obsahuje definice a jakostní požadavky na konečné výrobky.

Norma ČSN EN 998-1 se týká malt, u nichž je hlavním aktivním pojivem vápno (vzdušné nebo hydraulické), cement nebo obojí.

Pojivo ze síranu vápenatého může být použito jako doplňkové pojivo společně se vzdušným vápnem. Je-li vzdušné vápno základním aktivním pojivem, pak se na maltu ČSN EN 998-1 vztahuje. Je-li základním aktivním pojivem pojivo ze síranu vápenatého, pak se na maltu vztahuje ČSN EN 13279.

Speciální malty odolné proti požáru a zvukověizolační malty, malty pro opravy konstrukcí, úpravu povrchu staveb, jako jsou materiály pro vyrovnávání, natírání, ochranné vrstvy, organické omítky nanášené v tenkých vrstvách a prefabrikované stavební díly (např. sádkartonové desky), nejsou předmětem ČSN EN 998-1.

Vlastnosti malt pro vnitřní a vnější omítky značně závisí na druhu nebo druzích použitých pojiv a jejich dávkování. Zvláštní vlastnosti mohou být získány použitými druhy kameniv, přísad anebo příměsí.

Malty pro vnitřní i vnější omítky se rozdělují:

- podle záměru výroby:
 - návrhové malty podle volby výrobce,
 - předpisové malty;
- podle způsobu výroby:
 - průmyslově vyráběné malty,
 - malty zčásti připravené průmyslově,
 - staveništní malty;
- podle vlastností nebo použití:
 - obyčejné malty pro vnitřní nebo vnější omítky (GP),
 - lehké malty pro vnitřní nebo vnější omítky (LW),
 - zabarvené malty pro vnější omítky (CR),
 - malty pro jednovrstvé vnější omítky (OC),
 - tepelněizolační malty pro vnitřní i vnější omítky (T),
 - sanační malty pro vnitřní i vnější omítky (R).

Malty pro vnitřní či vnější omítky nedosahují svých vlastností, pokud po nanesení nezatvrdnou. Užité vlastnosti omítkových malt závisí na druhu použitého materiálu, na tloušťce vrstev a způsobu nanesení. Kromě toho jsou ovlivňovány povrchem omítané konstrukce.

Oblastní rozdíly ve stavební praxi, klimatické podmínky a různé složky malt pro vnitřní a vnější omítky neumožňují předepsané normalizované dávkování směsi pro předpisovou maltu, které by bylo použitelné v celé Evropě. Proto specifikace dávkování takové směsi (receptura) a oblast použití by měly vycházet z praxe a zkušeností získaných v místě použití.

Jednotliví výrobci zpravidla dodávají ucelenou sortimentní řadu průmyslově vyráběných suchých malt obyčejných nebo lehkých pro vnitřní i vnější omítky s ohledem na druh podkladu. Např. na podklad z cihelných zdicích prvků a lehkého betonu je vhodná (podle účelu použití) vícevrstvá vnitřní omítka tvořená podkladní vrstvou z malty vápenocementové obyčejné nebo lehké, vápenocementové tepelněizolační malty (obsahující expandovaný perlit nebo EPS) a konečnou krycí vrstvou z vápenné, vápenocementové obyčejné či ušlechtilé malty nebo štukové sádrové stavební malty[4, 6].

Projektant si může vybrat suché maltové směsi obyčejné (vápenné, vápenocementové, cementové) pro jednovrstvé, dvou- a vícevrstvé omítky vnitřní a vnější, lehké maltové a tepelněizolační směsi, suché směsi pro zhotovování vnitřní i vnějších štukových omítek, vyrovnávacích stěrek a maltové směsi pro drobné opravy poškozených omítek[16].

Vlastnosti čerstvých omítkových malt

Doba zpracovatelnosti musí být deklarována výrobcem. Je-li malta pro vnitřní nebo vnější omítky vzorkována z dodávky v souladu s ČSN EN 1015-2 a zkoušena podle ČSN EN 1015-9, nesmí být doba zpracovatelnosti kratší než deklarovaná hodnota.

Jestliže je pro použití malty pro vnitřní či vnější omítky uváděné na trh nutné znát rozsah, v němž se bude pohybovat obsah vzduchu v maltě, musí to být deklarováno výrobcem. Při vzorkování z dodávky podle ČSN EN 1015-2 a zkoušení podle ČSN EN 1015-7 musí být obsah vzduchu v deklarovaném rozsahu.

U malty pro vnitřní nebo vnější omítky, která obsahuje pórovitá kameniva, může být obsah vzduchu alternativně stanoven zkouškou objemové hmotnosti čerstvé malty podle ČSN EN 1015-6.

Tab. 20: Třídění podle vlastností zatvrdlé malty[16]

Vlastnosti	Kategorie	Hodnoty
rozsah pevností v tlaku po 28 dnech	CS I	0,4 až 2,5 N·mm ⁻²
	CS II	1,5 až 5,0 N·mm ⁻²
	CS III	3,5 až 7,5 N·mm ⁻²
	CS IV	> 6 N·mm ⁻²
kapilární absorpce vody	W 0	není předepsaná
	W1	$c < 0,40 \text{ kg m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
	W2	$c < 0,20 \text{ kg m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
tepelná vodivost	T1	$< 0,1 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
	T2	$< 0,2 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Vlastnosti zatvrdlých omítkových malt

Různé oblasti použití a podmínky prostředí vyžadují malty s různými vlastnostmi a užitnými hodnotami. Pro tyto účely se pevnost v tlaku, absorpce vody a tepelná vodivost musí třídit podle tab. 20.

Vlastnosti vztahující se k zamýšlenému použití anebo druh výrobku se musí deklarovat podle tab. 20. Deklarované hodnoty (třídy) musí splňovat požadavky uvedené v této tabulce. Kde je to pro uvedení malt pro omítky vhodné, mohou být oproti údajům v tab. 20 deklarovány dodatkové vlastnosti pro ty druhy malt, u nichž pomlčka v tabulce vyjadřuje, že hodnoty nejsou požadovány.

Malty pro vnitřní i vnější omítky, které obsahují méně než 1,0 % hmotnosti nebo objemu (podle toho, co přichází v úvahu) rovnoměrně rozptýleného organického materiálu, se v reakci na oheň třídí podle třídy A 1 bez zkoušení.

Malty pro vnitřní i vnější omítky, které obsahují více než 1,0 % hmotnosti nebo objemu (podle toho, co přichází v úvahu) rovnoměrně rozptýleného organického materiálu, musí být v reakci na oheň klasifikovány podle ČSN EN 13501-1 a příslušná třída reakce na oheň musí být deklarována.

Trvanlivost malt pro jednovrstvé omítky proti zmrazování a rozmrazování se musí posuzovat podle přídržnosti a propustnosti vody po cyklech ošetření (tab. 21). Všechny ostatní malty pro vnější omítky musí být (až do vydání příslušné evropské normy) hodnoceny na odolnost vůči zmrazování a rozmrazování podle prepisů platných v místě zamýšleného použití malty. Nalezená hodnota musí být odpovídajícím způsobem deklarována[16].

3.2.3 Malty pro vnitřní sádrové omítky

Při formulaci sádrových malt lze použít příměsi (filery, vlákna, pigmenty) a přísady (zpomalovače tuhnutí, provzdušňovače, ztekucovače a plastifikátory). Vzdušné vápno může doplňovat pojivový systém v množství menším než 5 %.

Jako kamenivo je možno použít inertní anorganický materiál, např. těžný nebo drcený písek se sypnou hmotností větší než 800 kg m^{-3} nebo expandovaný materiál se sypnou hmotností stejnou nebo nižší než 800 kg m^{-3} .

Norma ČSN EN 13279-1 vydaná koncem roku 2005 rozeznává i tyto druhy předem umístěných sádrových malt pro vnitřní omítky:

Sádrová stavební malta (symbol B1) obsahuje více než 50 % síranu vápenatého jako aktivního pojiva, a ne více než 5 % stavebního vápna (hydroxidu vápenatého). Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

Tab. 21: Souhrn požadavků na zatvrdlé malty [16]

Číslo	Zkoušená vlastnost	Metoda zkoušení	GP	LW	CR	OC	R	T
L1	objemová hmotnost v suchém stavu (kg m^{-3})	ČSN EN 1015-10	deklarace rozsahu hodnot	deklarace rozsahu hodnot $< 1300 \text{ kg m}^{-3}$	deklarace rozsahu hodnot	deklarace rozsahu hodnot	deklarace rozsahu hodnot	deklarace rozsahu hodnot
L2	pevnost v tlaku (kategorie)	ČSN EN 1015-11a	CS I až CS IV	CS I až CS III	CS I až CS IV	CS I až CS IV	CSU	CS I až CS II
L3	přidrženost (N mm^{-2} a způsob odtržení (FP) A, B nebo C)	ČSN EN 1015-12	$>$ než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)	$>$ než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)	$>$ než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)	–	$>$ než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)	$>$ než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)
L4	shodnost v podmínkách ošetření (N mm^{-2} a způsob odtržení (FP) A, B nebo C)	ČSN EN 1015-21	–	–	–	deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)	–	–
L5	kapilární adsorpce vody (kategorie) – pro malty zamýšlené k použití a vnější stavební prvky	ČSN EN 1015-18	W 0 až W 2	W 0 až W 2	W 0 až W 2	W 1 až W 2	$> 0,3 \text{ kg m}^{-2}$ po 24 h	W 1
L6	penetrace vody po zkoušce kapilární absorpce vody (mm)	ČSN EN 1015-18	–	–	–	–	$< 5 \text{ mm}$	–
L7	propustnost vody na příslušných podkladech po cyklech ošetření (ml cm^{-2} po 48 hodinách)	ČSN EN 1015-21	–	–	–	$< 1 \text{ ml/cm}^2$ po 48 h	–	–
L8	koefficient propustnosti vodní páry (pro malty zamýšlené k použití a vnější stavební prvky)	ČSN EN 1015-19 ^{a)b)}	$<$ než deklarovaná hodnota	$<$ než deklarovaná hodnota	$<$ než deklarovaná hodnota	$<$ než deklarovaná hodnota	< 15	< 15
L9	tepelná vodivost ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	ČSN EN 1745	tabulková hodnota	tabulková hodnota	tabulková hodnota	tabulková hodnota	tabulková hodnota	–
L10	tepelná vodivost (pro malty zamýšlené k použití na stavebních prvcích s požadavky na tepelnou izolaci)	ČSN EN 1745	–	–	–	–	–	T1: $< 0,10$ T2: $< 0,20$
L11	reakce na oheň (třída)	ČSN EN 13501-1				deklarace podle 5.2.2		
L12	trvanlivost	–				deklarace podle 5.2.2		

^{a)} Pro stanovení podmínek uložení se musí obsah vzdušného vápna vyjádřit jako hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 .

^{b)} Metoda zkoušení ČSN EN 1015-19 stanovuje průnik vodní páry Δ v $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$, zatímco tato norma přepisuje pro propustnost vodní páry koefficient μ , výpočet koefficientu μ z hodnoty Δ se provede podle následujícího vztahu: $\mu = (1,94 \cdot 10^{-10}) / \Delta$. V tomto vztahu číslo $1,94 \cdot 10^{-10}$ odpovídá faktorů ekvivalentu propustnosti vodní páry při teplotě 20°C a atmosférickém tlaku 101325 Pa .

Stavební malta na bázi sádry (B2) obsahuje méně než 50 % síranu vápenatého jako aktivního pojiva, a ne více než 5 % stavebního vápna (hydroxidu vápenatého). Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

Sádrovápenná stavební malta (B3) obsahující více nebo méně než 50 % síranu vápenatého a více než 5 % vzdušného vápna (hydroxidu vápenatého) jako pojiva. Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

Lehké sádrové stavební malty (B4, B5, B6) jsou stavební malty podle B1, B2, B3, do kterých jsou přidávána pórovitá anorganická kameniva, jako například expandovaný perlit a vermiculit, nebo pórovitá organická kameniva. Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

Sádrová stavební malta se zvýšenou tvrdostí povrchu (B7) je speciálně složená tak, aby vyhověla pro vnitřní omítky, pro něž je požadována zvýšená tvrdost povrchu.

Sádrové malty pro speciální účely (C1 až C6) zahrnují malty pro vláknité výrobky, pro zdění, zvukověizolační malty, tepelněizolační malty, se zvýšenou reakcí na oheň a malty pro tenkovrstvé omítky. Jsou navrženy na zlepšení fyzikálních vlastností omítek.

Vlastnosti sádrových malt, zkoušené podle ČSN EN 13279-2, musí vyhovět požadavkům uvedeným v tab. 22.

Sádrovou maltu je možno aplikovat ručně nebo strojně (návrhová malta) jako jedno-, dvou- a vícevrstvou, spodní a konečnou vrstvu omítkového systému. Sádrová omítka může být použita pro většinu omítaných ploch, neměla by však být po zatuhnutí použita v trvale vlhkém prostředí, které způsobuje ztrátu pevnosti a porušení (ČSN 72 2414). Spodní vrstvy sádrových omítek by měly být zdrsňeny, aby tak byla vytvořena adhezni vrstva pro další vrstvu omítky. U vícevrstvého systému sádrové omítky není nutné, aby před nanesením další vrstvy předchozí vrstva vyschla, měla by však mít dostatečnou pevnost.

K požadavkům na průmyslově vyráběnou sádrovou maltu patří především doba tuhnutí, která je větší než 5 minut (úroveň T1) pro sádrové pojivo používané na staveništi, větší než 20 minut (T2) pro ruční omítání a větší než 50 minut (T3) pro strojní omítání. Proto lze tuhnutí sádrových omítek kontrolovat. Po ukončení tuhnutí nedochází k dalšímu pohybu omítky.

Pevnost v tlaku zatvrdlé sádrové malty se stanovuje ve dvou úrovních: pro všeobecné použití sádrových omítek hodnotou rovnou nebo větší než 2,0 MPa, pro speciální účely (B7) hodnotou rovnou nebo větší než 6,0 MPa.

K dalším vlastnostem uváděným v připravované normě patří tvrdost povrchu zatvrdlé sádrové malty a její přídržnost. U sádrových omítek s tvrdým povrchem má být tvrdost větší než 2,5 MPa. Přídržnost sádrové stavební omítky má být větší než 0,1 MPa v případě, že lom (porucha) nastává mezi omítkou a podkladem.

Deklarace reakce na oheň je zaváděna obvyklým způsobem.

Tab. 22: Požadavky na sádrové malty podle ČSN EN 13279-1

Sádrové malty		Obsah sádrového pojiva	Počátek tuhnutí (min)		Pevnost v tahu za ohybu	Pevnost v tlaku	Tvrdost povrchu	Přidržnost
ozn.	název		sádrová malta pro ruční zpracování	sádrová malta pro strojní zpracování				
		%					N/mm ²	
B1	sádrová stavební malta	> 50						
B2	sádrová malta na bázi sádry	< 50						
B3	sádrovápenná stavební malta	*						
B4	sádrová lehká stavební malta	> 50			≥ 1,0	≥ 2,0		porušení se objeví ve vlastní omítce nebo v podkladu; Jestliže se porušení objeví mezi maltou a podkladem, musí být hodnota ≥ 1
B5	lehká stavební malta na bázi sádry	< 50	> 20	> 50				
B6	lehká sádrovápenná stavební malta	*						
B7	sádrová stavební malta pro omítání se zvýšenou tvrdostí povrchu	> 50			≥ 2,0	≥ 6,0	≥ 2,5	

*sádrová stavební malta (s > 50% síranu vápenatého) nebo omítka na bázi sádry (s < 50% síranu vápenatého) a s obsahem vápna > 5%

Jestliže sádrové malty obsahují méně než 1 % hmotnosti nebo objemu rovnoměrně rozptýleného organického materiálu, pak jsou nehořlavé (třída A 1) bez zkoušení. Chemické složení sádry je takové, že zvyšuje požární odolnost stavebního systému, v němž je sádrová omítka použita.

Výrobce (nebo jeho zástupce) musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky zavedené ČSN EN 13279-1 prováděním počátečních zkoušek a řízením výroby závodu.

Tuzemští výrobci průmyslově vyráběných suchých omítkových směsí dodávají sádrovou a lehkou sádrovou maltu pro jednovrstvou gletovanou nebo hlazenou vnitřní omítku a štukovou sádrovou a na sádře založenou maltu pro konečnou vrstvu vnitřní vícevrstvé omítky. Tyto výrobky jsou v podstatě konformní s výše uvedenou normou. Vyrábí se i hlinitosádrová malta pro ruční nanášení v jedné vrstvě na vnitřní stěny a stropy[16].

3.2.4 Malty pro podlahové potěry ze síranu vápenatého

V poslední době se velmi rozšířily lité samonivelační sádrovcové potěry (z α -sádry nebo anhydritu). Přesné receptury směsí jsou tajemstvím firem. Oproti cementovým potěrům vykazují o 50 % vyšší pevnost v tahu za ohybu i vyšší pevnost v tlaku. K výhodám sádrovcových potěrů patří jejich minimální tloušťka, která je 35 mm (což právě postačuje k překrytí podlahového vytápění), u cementového potěru je minimální tloušťka o 10 mm větší (45 mm). Nevýhodou je, že sádrovcové potěry nejsou vhodné do vlhkého prostředí, garáží, autodílen apod.

Spotřeba průmyslově vyrobené maltové směsi na 1 m² činí 19 kg při 1 cm tloušťky potěru. Zavedené montážní firmy pokládají až 1000 m² samonivelačního potěru za den.

Požadavky na průmyslově vyráběné maltové směsi ze síranu vápenatého určené k použití ve vnitřních stavebních podlahových konstrukcích shrnuje ČSN EN 13454-1.

Průmyslově vyráběné maltové směsi (CA) sestávají z pojiv z různých forem síranu vápenatého (CAB), kompozitních pojiv (CAC) ze síranu vápenatého i dalších přísad a kameniv; mohou obsahovat přísady a příměsi. Směsi (CA) mohou být vyráběny a dodávány jako:

- předem dávkované (suché), jejichž složky jsou plně dávkovány průmyslově; na staveništi jsou zamíchány podle pokynů a podmínek výrobce;
- předem průmyslově umíchané (suché), dodávané na staveniště, kde se zamíchají s dávkou vody;
- předem průmyslově umíchané (vlhké), dodávané na staveniště k přímému použití.

Průmyslově vyráběné maltové směsi (CA) jsou z hlediska reakce na oheň zařazeny do evropské třídy A 1 bez zkoušení, pokud obsahují méně než 1 % hmotnosti nebo objemu (podle toho, co je většina organického materiálu. Obsahují-li více než 1 % organického materiálu, musí se posuzovat a zařadit podle ČSN EN 13501-1.

Konzistence směsí (CA) se uvádí v mm a stanoví se podle ČSN EN 13454-2. Hodnota rozlití musí být rovna nebo větší než 220 mm pro tekuté maltové směsi, 150 až 220 mm pro

plastické maltové směsi a v rozmezí 110 až 140 mm pro zavlhlé maltové směsi. Hodnota rozliti se stanovuje podle ČSN EN 13454-2.

Nejkratší doba zpracovatelnosti pro tekuté, plastické a zavlhlé maltové směsi musí být rovna nebo větší než 30 minut; počítá se od okamžiku ukončení přidávání vody do maltové směsi.

Pevnost v tlaku se označuje jako C, pevnost v tahu za ohybu jako F vždy s udáním číselné hodnoty v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) podle pevnosti v tlaku jsou:

C5, C7, C12, C16, C20, C25, C30, C35, C40, C50, C60, C80.

Pevnostní třídy podle pevnosti v tahu za ohybu jsou:

F1, F2, F3, F4, FS, F6, F7, F10, F15, F20, F30, F40, F50.

Pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu se stanoví podle ČSN EN 13892-2. Požadavky na další vlastnosti (např. tvrdost povrchu, odolnost oproti ohrusu valivým zatížením, propustnost vody, přídržnost, zvuková pohltivost, modul pružnosti a elektrický odpor) jsou uvedeny v ČSN EN 13813.

Hodnocení shody prokazuje shodu pojiv (CAB), kompozitních pojiv (CAC) a průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) s požadavky ČSN EN 13454-1 na základě:

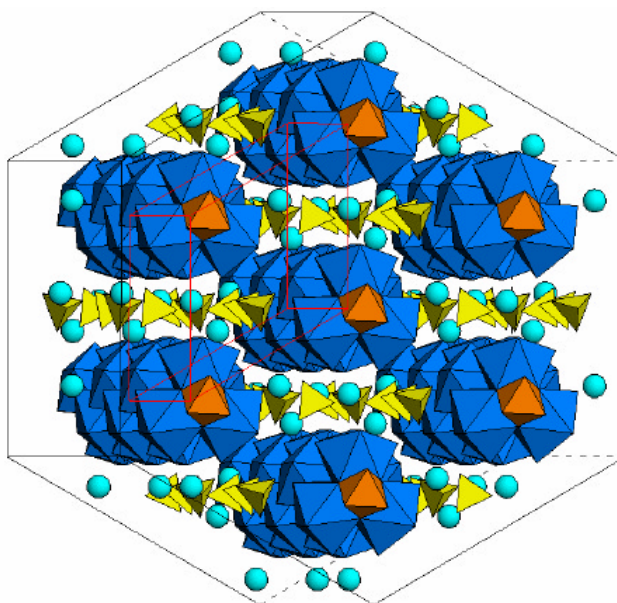
- počátečních zkoušek typu,
- systému řízení výroby závodu.

Účelem systému řízení výroby závodu je zajistit, aby pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi uváděné na trh byly ve shodě s technickými specifikacemi[16].

4 ETTRINGIT

Ettringit je pojmenování pro celou skupinu přírodních i syntetických sloučenin obvykle typu sulfohlinitanu vápenatého $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$. Dle krystalochemického systému minerálů se ettringit řadí do skupiny ettringitu-metavolnitu (dle H. Strunze a dalších autorů), který spadá pod oddělení vodnatých sulfátů s cizími ionty. Toto oddělení je součástí třídy sulfátů, chromátů, molybdátů a wolframátů[23].

Krystalová struktura ettringitu byla v minulosti studována několika autory. V roce 1970 byla Moorem a Taylorem publikována monokrystalová struktura ettringitu. Ettringit tvoří hexagonální prizmatické nebo jehlicovité krystaly, které mají dvě odlišné strukturální složky, sloupce $[\text{Ca}_6(\text{Al}(\text{OH})_6)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}]^{6+}$ a kanálky $[(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]^{6-}$ [24]. Ve struktuře sloupce ettringitu lze identifikovat dva druhy koordinačních polyedrů (viz. obr. 3).



Obr. 3: Strukturní model ettringitu (dle Dr. J. Neubauera z Univerzity Erlagen, Germany), kde bleděmodře jsou molekuly vody, modře jsou CaO_8 polyedry, žlutě jsou SO_4^{2-} tetraedry a oranžově jsou $\text{Al}(\text{OH})_6^{3-}$ oktaedry[25].

Kanálky mezi sloupci obsahují tetraedry SO_4^{2-} případně jiné skupiny aniontů a zbývající molekuly H_2O . Molekuly vody jsou ve struktuře ettringitu z části poutány velmi volně. Zásadou toho může být vysvětleno odštěpení části vody během sušení nebo při zvýšení teploty a existence ettringitu s různým obsahem krystalové vody[25].

Ettringit je minerál, jehož název je odvozen od místa jeho prvního nálezů (Ettringen, Porýní – Falc, SRN). V přírodě se vyskytuje ve formě jemně vláknitého, bezbarvého až intenzivně žlutého minerálu s hedvábným leskem (viz obr. 4 a 5).



Obr. 4: přírodní krystalová forma ettringitu (Patrice Queneau – lokalita Bosséjour, Ceyrat, Clermont-Ferrand, Francie)[26].



Obr. 5: přírodní krystalová forma ettringitu (Rob Lavinsky – lokalita N'Chwaniny Mines, Kalahari manganese fields, Provincie Northern Cape, Jižní Afrika)[26].

Kromě své přírodní formy je znám také ze silikátových technologií jako minerální fáze, běžně přítomná v cementářských slínkách – ettringit tvoří na povrchu hydratujících zrn dočasně relativně stabilní ochrannou vrstvu, zabraňující další rychlé hydrataci. V průběhu hydratace dojde k vyčerpání síranových iontů v roztoku, ettringit se pak stane nestabilní složkou a zčásti rekrystalizuje na monosulfoaluminát. Kdyby nebyl přítomný ettringit, případně jiný regulátor tuhnutí, následně by došlo k příliš rychlému „bleskovému“ tuhnutí betonu (*flash set*)[27, 28]. Pod pojmem „cementářský bacil“ je označován ettringit v betonářském průmyslu, kdy se vyskytuje v průběhu tuhnutí a tvrdnutí betonu a způsobuje vznik prasklin a trhlinek v betonu, což se

negativně promítá na jeho konečných vlastnostech, např. na snížení pevností, zvýšení nasákavosti, snížení mrazuvzdornosti apod.

Dále se objevuje rovněž v oblasti čištění průmyslových odpadních vod hlinitými ionty[27]. Kde se využívá cíleného formování ettringitu ke snižování množství škodlivin přítomných v průmyslových odpadních vodách např. iontů těžkých kovů (z povrchové úpravy kovů, galvanizace, textilního průmyslu apod.) a síranových iontů (důlní vody). V praxi našly technologie čištění průmyslových odpadních vod využívající formování ettringitu případně ostatních sloučenin uplatnění při snižování množství iontů mědi, selenu, boru, cínu a síranů v odpadních vodách[29, 30]. Procesy formování sloučenin typu ettringitu využívají také různé silicifikační technologie, např. cementace popílků ze spalování komunálních odpadů[31].

5 DESULFATAČNÍ TECHNOLOGIE

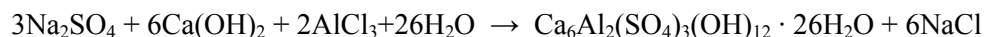
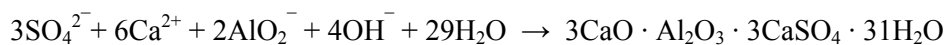
Na pracovišti Institutu environmentálního inženýrství, Hornicko-geologické fakulty, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava byla v předchozích letech vyvinuta a provozně verifikována technologie odstraňování nadlimitních obsahů síranů z důlních a dalších síranových odpadních vod chemickým srážením[20, 21, 22]. Na varianty srážecích postupů této technologie byly uděleny patenty[12, 13, 14]. Produktem předmětné technologie je vyčištěná voda a kal. Voda je s požadovanou účinností zbavena rozpuštěných síranů, železa a dalších iontů.

Problematika likvidace, respektive využití desulfatačních kalů nebyla doposud uspokojivě řešena. V úvahu přicházejí buď ukládání kalu případně jeho solidifikátu na skládce odpadů případně do podzemních úložišť nebo varianty, vyžadující předběžný experimentální výzkum a vývoj, jehož cílem je nalezení možnosti využití kalu daného typu v recepturách pro výrobu stavebních hmot (betony, malty, omítkové hmoty apod.), nátěrových hmot apod.[21]. Možnosti využití lze teoreticky nalézt také v oblasti papírenského průmyslu nebo zemědělství. Prakticky byla možnost využití desulfatačních kalů odpovídajících při čištění odpadních vod uhelného průmyslu ověřena v zemědělství s cílem zlepšit vlastnosti kyselých půd[3, 17].

Desulfatační technologie je v podstatě založena na následujících operacích:

- 1) alkalizace důlních vod $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na $\text{pH} = 11-12,6$ a oddělení vzniklého kalu sedimentací a filtrací,
- 2) chemické srážení síranů solemi hliníku, obsahující ionty Al^{3+} nebo AlO_2^- a oddělení desulfatačního kalu sedimentací a tlakovou filtrací,
- 3) oddělení vzniklého kalu sedimentací a tlakovou filtrací a neutralizace desulfatované vody kapalným CO_2 .

Srážení síranů probíhá podle reakcí:



Ve složení desulfatačního kalu převažuje hydratovaný síran vápenatý (ettringit). Z pohledu technologie čištění vod daného typu jako celku je tento kal technologickým odpadem. Dle posloupnosti technologických operací můžeme získat tři typy kalových podílů – **alkalizační kal** (po alkalizaci); **čistý desulfatační kal čistý** (ettringitický), po srážení síranů solemi hliníku; **směsný desulfatační kal** (čistírenský), nedojde-li v průběhu desulfatace k oddělení alkalizačního kalu před srážením síranů.

5.1 Poloprovozní příprava směsného desulfatačního kalu

Směsný desulfatační kal byl připravován v poloprovozních podmínkách na úpravně důlních vod (důlní voda z lomu Československé armády) – Mostecké uhelné, a.s. v obdobích: srpen 2007, duben 2008 a dále pak na čerpací stanici Divize Jiří (důlní voda z lomu Marie a z lomu Jiří) – Sokolovské uhelné, a.s. v obdobích: březen 2009 a červenec 2009.

Příprava směsného desulfatačního kalu:

- V úpravně důlních vod byla odebírána voda na přítoku – voda z dolu ČSA (Mostecká uhelná, a.s.). Směsný desulfatační kal (dále SD kal) byl připravován v prostorách úpravny důlních vod (dále UDV). Byla provedena alkalizace pomocí $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na pH 12,5 a následně nadávkován NaAlO_2 podle množství SO_4^{2-} [1,2,3]. Vzniklý směsný desulfatační kal (směsný, protože v průběhu desulfatace nebyl oddělen alkalizační kal) byl odsazen a následně zahuštěn pomocí filtrační textilie, celkem bylo vyrobeno přibližně 400 l směsného desulfatačního kalu o 82,78% sušiny. Po transportu na náš institut byl připravený směsný desulfatační kal dále upravován viz kapitola 6.1.
- Na čerpací stanici Divize Jiří (Sokolovská uhelná, a.s.) byla obdobná příprava směsného desulfatačního kalu jako na úpravně důlních vod (Mostecká uhelná, a.s.) jen se lišilo dávkování chemikálií v závislosti na charakteristice dané důlní vody (dávkování bylo vždy ověřováno laboratorně před poloprovozní desulfatací). Opět bylo přibližně vyrobeno cca 400 l směsného desulfatačního kalu o 89,5% sušiny pak s ním bylo nakládáno stejně jako se směsným desulfatačním kalem z úpravny důlních vod (Mostecká uhelná, a.s.).

Postup přípravy směsného desulfatačního kalu je znázorněn na obr. 6 – obr. 13.



Obr. 6: Vyrovnávací nádrž 1 (přítok UDV ČSA)
– foto malíková



Obr. 7: Výroba SD kalu (míchadlo EUROSTAR IKA) – foto Malíková



Obr. 8: Zahušťování SD kalu na UDV – foto Malíková



Obr. 9: Vyrobený SD kal o 82,78 % sušiny – foto Malíková



Obr. 10: Sušení SD kalu při laboratorní teplotě – foto Malíková



Obr. 11: SD kal před tepelnou úpravou – foto Malíková



Obr. 12: SD kal po tepelné úpravě – foto Malíková



Obr. 13: SD kal připravený pro další použití – foto Malíková

6 LABORATORNÍ TESTY

V rámci laboratorních testů, kterým předcházely základní pojivové roztěry – kdy se směsný desulfatační kal míchal v různých poměrech s pískem, cementem, vysokopecní struskou, lehkými plnivy (papírenský prach) a vodou, se nanášel na savý a nesavý povrch a sledovaly se jednotlivé změny jednotlivých směsí v závislosti na úpravě směsného desulfatačního kalu (bez úpravy v surovém stavu – obsah sušiny cca 82 až 89 hm.%, sušený směsný desulfatační kal při teplotě 90 °C, nebo tepelně upravený při vyšších teplotách)[17].

Z těchto důvodů byla potřeba se zaměřit, pro aplikaci směsného desulfatačního kalu v technologii stavebních hmot, na:

- optimalizaci průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu,
- ověření možnosti využití upraveného směsného desulfatačního kalu jako pojiva nebo přísady v maltovinách pro omítání,
- návrh receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu.

6.1 Optimalizace průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu

Pro ověření optimalizace průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu byla jako stavební materiál zvolena sádrová směs. Laboratorně byly ověřovány pevnostní charakteristiky sádrových směsí na bázi směsného desulfatačního kalu v závislosti na teplotě úpravy směsného desulfatačního kalu. Pro prokázání vlivu úpravy desulfatačního kalu na fyzikálně mechanické vlastnosti (pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku na konci trámečků – bližší popis viz dále)[9,16], byla vybrána pro pevnostní charakteristiky experimentální sádrová směs s obsahem 5 hm.% upraveného desulfatačního kalu. Složení jednotlivých experimentálních směsí je uvedeno v tab. 23. Při všech zkouškách byla použita sádra šedá (štukatérská – pro stavební účely, omítky a elektroinstalaci), typ: G – 2 B II, výrobce Gypstrend s.r.o. – Kobeřice.

Tab. 23: Složení testovaných sádrových směsí (množství jednotlivých složek v g).

Vzorek číslo	Sádra šedá*	Desulfatační kal upravený při teplotě [°C]							Voda	Vodní součinitel
		105	200	400	600	800	1000	1200		
SG0	750,00								577,50	0,77
SG1E	712,50	37,50							577,50	0,77
SG2E	712,50		37,50						577,50	0,77
SG3E	712,50			37,50					577,50	0,77
SG4E	712,50				37,50				577,50	0,77
SG5E	712,50					37,50			577,50	0,77
SG6E	712,50						37,50		577,50	0,77
SG7E	712,50							37,50	577,50	0,77

*sádra šedá GYPSTREND Kobeřice, TŘÍDA G2-B-II

Tab. 24: Pevnostní parametry po 2 hod., 7 a 48 dnech stáří experimentálních sádrových směsí

	Vzorek č.	Pevnost v (MPa)	
		v tahu za ohybu	v tlaku
2 hod. pevnost	SG0	0,863	2,481
	SG1E	1,030	2,745
	SG2E	0,944	2,738
	SG3E	0,991	2,777
	SG4E	1,065	2,851
	SG5E	0,944	3,081
	SG6E	1,014	3,192
	SG7E	1,186	3,405
7 denní pevnost	SG0	1,264	3,986
	SG1E *	0,819	2,480
	SG2E *	0,920	2,538
	SG3E *	0,803	2,625
	SG4E *	0,881	2,621
	SG5E	1,576	5,307
	SG6E	1,638	5,682
	SG7E	1,529	5,900
48 denní pevnost	SG0	2,964	7,203
	SG1E	2,301	6,885
	SG2E	2,457	7,125
	SG3E	2,301	7,000
	SG4E	2,301	7,719
	SG5E	2,574	8,943
	SG6E	3,003	10,297
	SG7E	2,379	9,313

* Vzorke vykazovaly nižší hodnoty z důvodu jiných laboratorních podmínek, vykazovaly vyšší vlhkost (s tím související i vyšší hmotnost).

Stanovení fyzikálně mechanických vlastností experimentálních sádrových směsí na bázi desulfatačního kalu bylo provedeno v souladu s ČSN 72 2301 Sádrová pojiva a ČSN EN 13279-2 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – část 2: Zkušební metody.

Jako zkušební tělesa byly použity trámečky rozměrů 40 x 40 x 160 mm (obr. 14). Formy pro výrobu zkušebních těles se plnily v souladu s ČSN 72 2301 sádrovou kaší tzv. normální konzistence.



Obr. 14: Zkušební trámečky – foto Malíková

Normální konzistence sádrové kaše se stanovila tak že se do čisté misky nalila voda (její množství se řídí vlastností sádrového pojiva), do níž se během 2 až 5 sekund vsypalo 300 až 350 g sádrového pojiva. Hmota se po dobu 30 s míchala ručním míchadlem. Poté se touto sádrovou kaší naplnil zkušební válec (průměr 50 mm, výška 100 mm) postavený na skleněnou destičku (velikost hrany min. 24 cm) a přebytek kaše se seříznul pravítkem. Po 45 s po vsypání sádrové směsi do vody se válec vertikálně zvedl, přičemž došlo k vytvoření sádrového koláče. Normální konzistence je potom taková konzistence sádrové kaše, při které průměr roztečení resp. průměr sádrového koláče činí 180 ± 5 mm. Průměr se měřil ve dvou vzájemně kolmých směrech a vypočetl se aritmetický průměr. Z výsledků stanovení normální konzistence sádrové kaše, byl určen optimální vodní součinitel referenčních sádrových směsí (viz. tab. 23).

Příprava referenční sádrové směsi (složené pouze ze sádrového pojiva a vody) **a výroba zkušebních těles** probíhaly v souladu s postupem uvedeným v ČSN 72 2301, tj.:

1. do čisté a suché mísící nádoby se nalila voda,
2. do nádoby se v průběhu 5 až 20 s vsypalo sádrové pojivo v množství potřebném k získání kaše normální konzistence,
3. po vsypání pojiva se směs intenzivně promíchávala ručním míchadlem po dobu 60 s do obdržení stejnorodé kaše, která se vlila do formy,
4. k odvzdušnění se forma po zalití 5 krát setřásla – forma se zvedla čelní stranou do výše 8 až 10 mm a spustila se,
5. jakmile začala sádrová směs tuhnout, přebytky sádrové kaše se seřízly pilovitým pohybem pravítka po horních hranách formy kolmo k povrchu trámeček,
6. za 15 minut \pm 5 minut po skončení tuhnutí byly trámečky vyjmuty z formy, označeny a uloženy ve zkušební místnosti.

Z každé záměsi byly vytvořeny tři zkušební trámečky o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm, které byly po **2 hod., 7 a 48 dnech** zrání podrobeny zkouškám pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu

Zkoušky fyzikálně-mechanických vlastností byly u všech testovaných směsí prováděny, v laboratořích Stavebních hmot, VŠB – TU Ostrava. Testy byly prováděny na lisu BS – 300, který slouží k provádění destruktivních testů zkušebních trámeček a krychlí a na tzv. lámačce, která pro stanovení pevnosti v ohybu byl použit postup středového zatěžování. Části zkušebních trámeček zlomených při zkoušce v tahu za ohybu se zkoušely na pevnost v tlaku na ploše 40×40 mm bočních hran. Na obr. 15 jsou znázorněny přípravky pro měření pevnosti v tahu za ohybu (na obrázku vlevo) a pro měření pevnosti v tlaku (na obrázku vpravo).

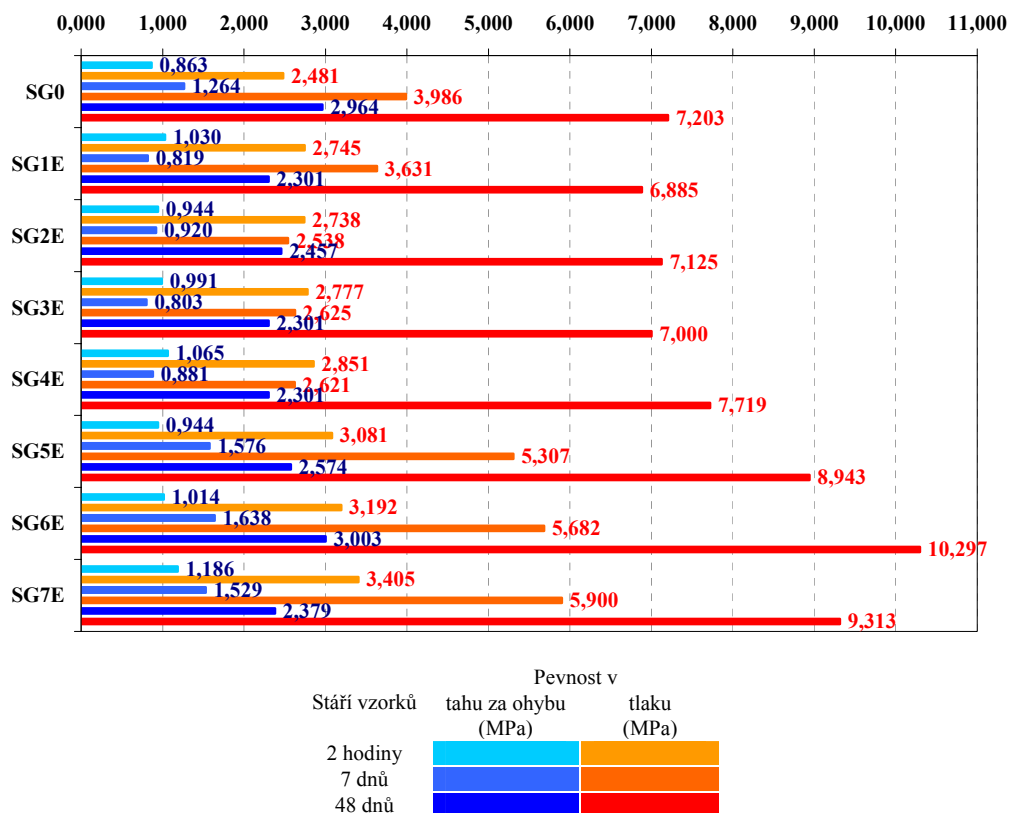
Stanovení pevnosti v tahu za ohybu bylo prováděné na lámačce typu BS – 10 H (max. přítláčná síla 10 kN). Zkušební těleso se uložilo do zkušebního stroje jednou z bočních ploch (tj. kolmo na směr plnění) na válcové podpory tak, aby jeho podélná osa byla k válcovým podporám

kolmá. Zatížení se přenášelo přes zatěžovací válec kolmo na protilehlou boční plochu zkušebního tělesa a zvyšovalo se rovnoměrnou rychlostí až do zlomení.

Stanovení pevnosti v tlaku proběhlo tak, že se poloviny trámečků zkoušely na bočních plochách na pevnost v tlaku pomocí lisu typu BS – 300 H (max. přítlačná síla 300 kN). Poloviny trámečků se vystředily bočními plochami na tlačných destičkách zkušební lisu a délkově se orientovaly tak, aby koncové plochy trámečků přesahovaly tyto destičky minimálně o 10 mm. Zatížení se zvyšovalo pravidelně během celé doby zkoušky až do okamžiku porušení.



Obr. 15: Přípravky pro měření pevností: vlevo – pro pevnost v tahu za ohybu, vpravo – pro pevnost v tlaku – foto Malíková



Obr. 16: Pevnostní charakteristiky sádrových směsí – pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku

Výsledky pevnostních zkoušek jsou uvedeny v tab. 24 a grafický průběh je znázorněn na obr. 16. Při použití jako náhrada v sádrové směsi to zkrátilo zpracovatelnost z minut na sekundy – čas se zkracoval s vyšší teplotou úpravy kalu a bylo potřeba vynaložit větší síly při míchání, konkrétně u vzorků SG1E až SG6E. Vzorek SG7E oproti ostatním se zpracovával podobně jako komparační vzorek SG0. I nárůst hydratačního tepla byl se vzrůstající teplotou úpravy kalu pomalejší.

Z obr. 16 je patrné, že se zvyšující se teplotou úpravy desulfatačního kalu dochází k nárůstu pevnostních charakteristik oproti komparační sádrové směsi SG0. U sádrových směsí stárí:

- 2 hod. největší nárůst pevnostních charakteristik oproti komparační směsi SG0 byl zaznamenán u směsi SG7E (u pevnosti v tahu za komparační směsi SG0).
- 7 dnů největší nárůst pevnostních charakteristik oproti komparační směsi SG0 byl zaznamenán u směsi SG7E (u pevnosti v tahu za ohybu cca o 20,96 %, u pevnosti v tlaku cca o 48,02 %). Jinak nižší hodnoty u vzorků SG1E až SG4E mohou být způsobeny jinými laboratorními podmínkami – vykazovaly vyšší vlhkost.
- 48 dnů největší nárůst pevnostních charakteristik oproti komparační směsi SG0 byl zaznamenán u směsi SG6E (u pevnosti v tahu za ohybu cca o 20,96 %, u pevnosti v tlaku cca o 48,02 %). Jinak všechny vzorky vykazovali oproti komparační směsi SG0 nižší pevnosti v tahu za ohybu (SG1E, SG2E, SG3E, SG4E, SG5E, SG7E), pevnosti v tlaku byli oproti komparační směsi SG0 nižší u vzorků SG1E, SG2E a SG3E.

Za účelem **optimalizace průběhu termické úpravy desulfatačního kalu** bylo připraveno celkem 7 vzorků směsného desulfatačního kalu, které byly podrobeny termické úpravě při teplotách 900, 1000, 1100, 1200 a 1250 °C. Označení jednotlivých vzorků je uvedeno v tab. 24.

Tab. 25: Označení vzorků směsného desulfatačního kalu pro termickou úpravu a následnou RTG analýzu

Označení vzorku	Teplota termické úpravy [°C]	Doba termické výdrže [min]
900 SDK	900	30
1000 SDK	1000	30
1100 ASDK	1100	30
1100 BSDK	1100	60
1200 SDK	1200	30
1250 SDK	1250	30

Všechny výše uvedené vzorky (viz tab. 25) byly podrobeny rentgenové-difrakční analýze, výsledky jsou prezentovány na obr. 17 až 23.

Při určování optimálního způsobu výpalu směsného desulfatačního kalu byl brán zřetel, že materiál nejdříve při zahřívání zvětšuje svůj objem, za vyšších teplot dochází již k rozkladu povrchových vrstev. Postupně pak dochází k disociaci dovnitř materiálu, aniž se přitom zmenšuje

jeho objem. Teprve při ještě vyšších teplotách se vznikající částice zárodečných minerálů spojují a celkový objem se zmenšuje. Celý tento proces lze sledovat změnami objemové hmotnosti, pórovitosti, specifického povrchu a změnami velikosti krystalů.

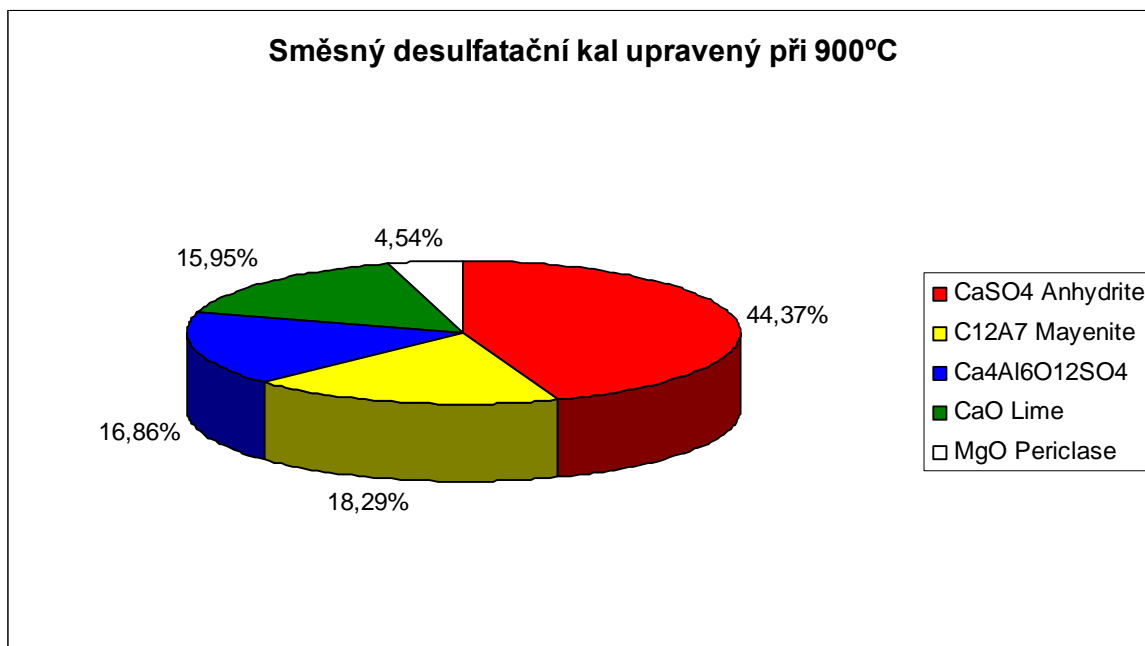
Je patrné, že při termické úpravě 900 °C dochází k tvorbě reaktivního kalciumaluminátu $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ (mayenite) a reaktivního sulfoaluminátu $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{12}\text{SO}_4$. Při této teplotě jsou uvedené minerály zastoupeny v podstatě rovnoměrně, přičemž tvoří cca 35 % z celkového mineralogického složení. Se vzrůstající teplotou termické úpravy podíl kalciumaluminátu $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ klesá a je nahrazován sulfoaluminátem $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{12}\text{SO}_4$. Při teplotě 1250 °C dochází již úplné přeměně kalciumaluminátu $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ na sulfoaluminát $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{12}\text{SO}_4$.

Vliv doby termické výdrže při úpravě desulfatačního kalu na jeho mineralogické složení byl ověřen při teplotě 1100 °C, kdy byl vzorek 1100 ASDK udržován při teplotě 1100 °C po dobu 30 min a vzorek 1100 BSDK po dobu 60 min. Z následné RTG analýzy vzorku dle obr. 18 a 19 není patrný rozdíl v mineralogickém složení.

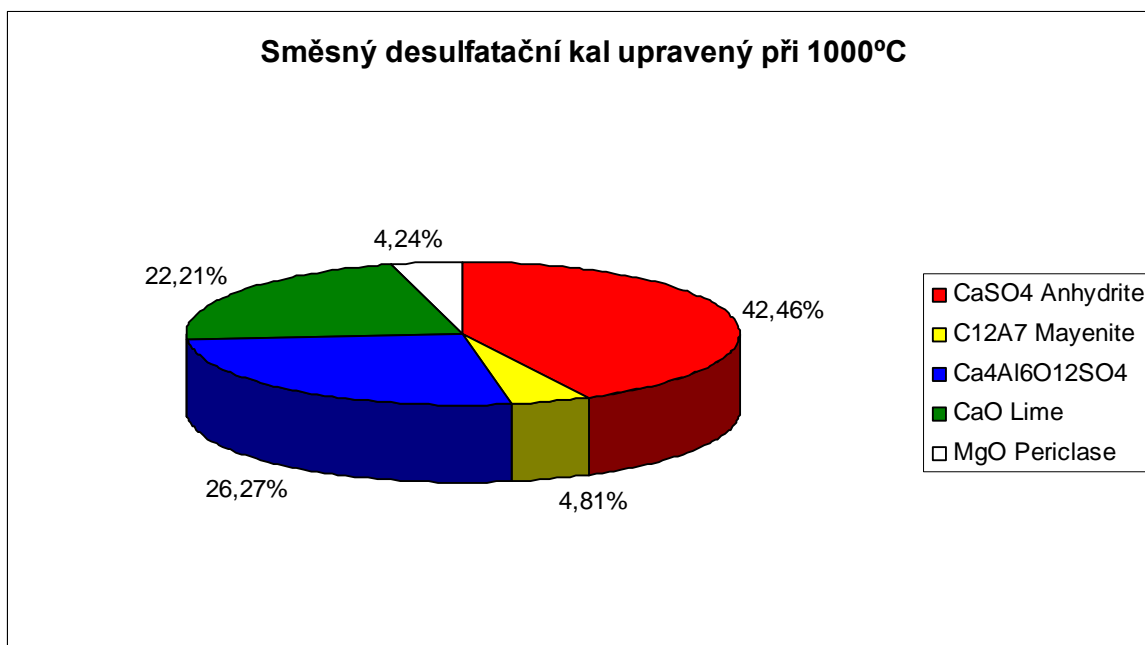
Rentgenová difrakční analýza byla provedena v laboratořích Institutu geologického inženýrství, VŠB – TU Ostrava.



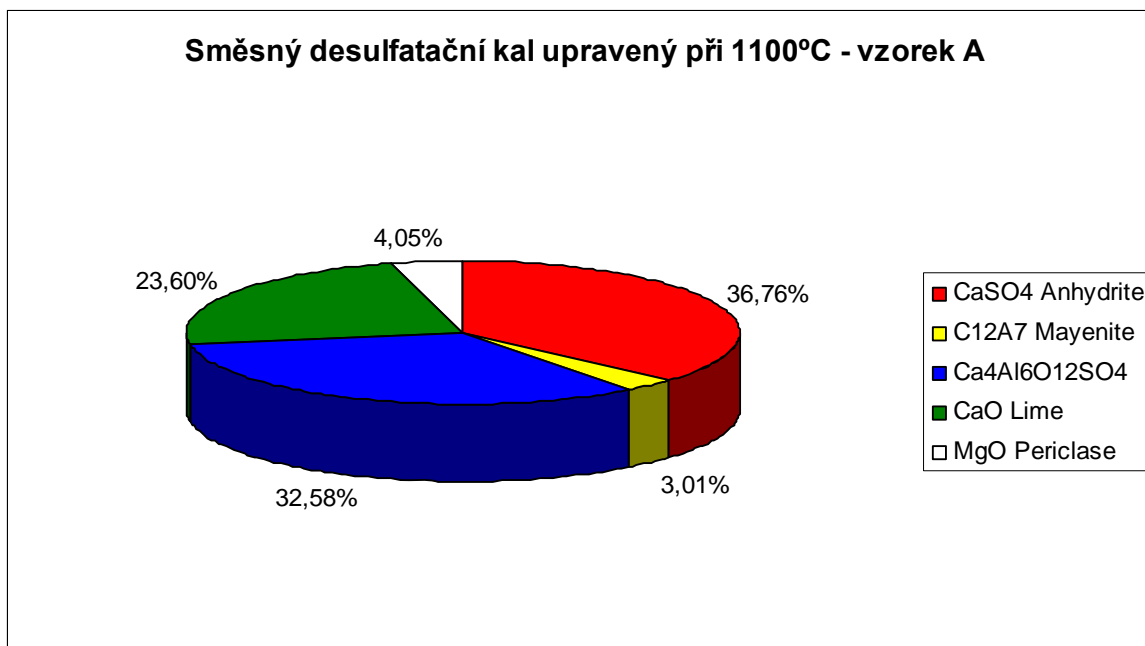
Obr. 17: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu bez termické úpravy



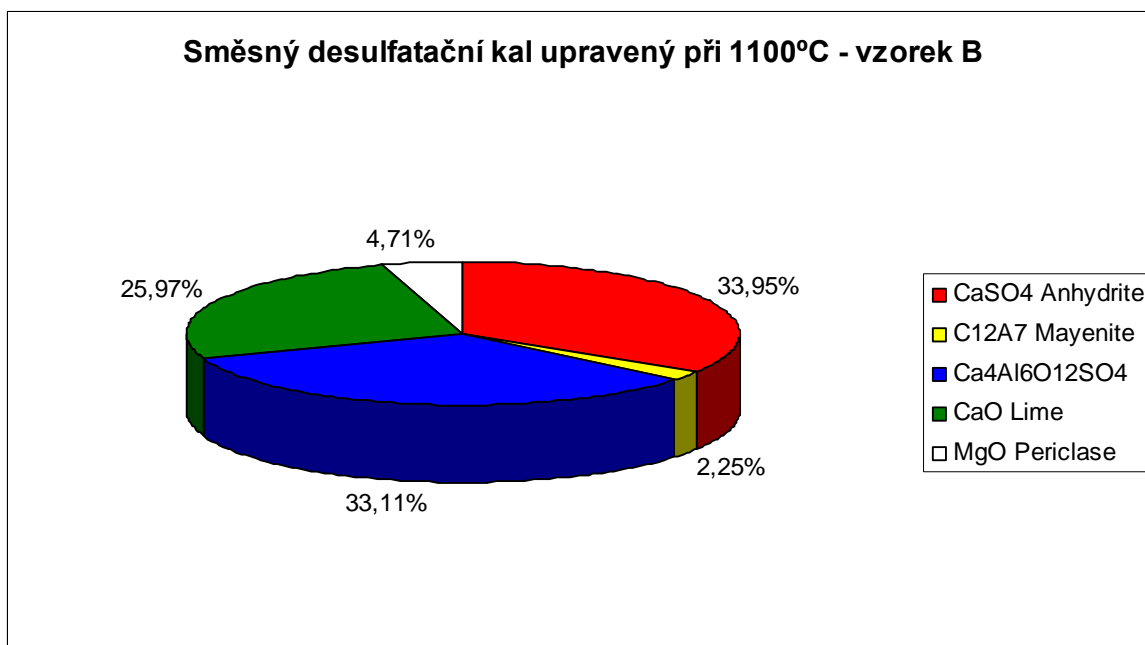
Obr. 18: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 900 °C (termická výdrž 30 minut)



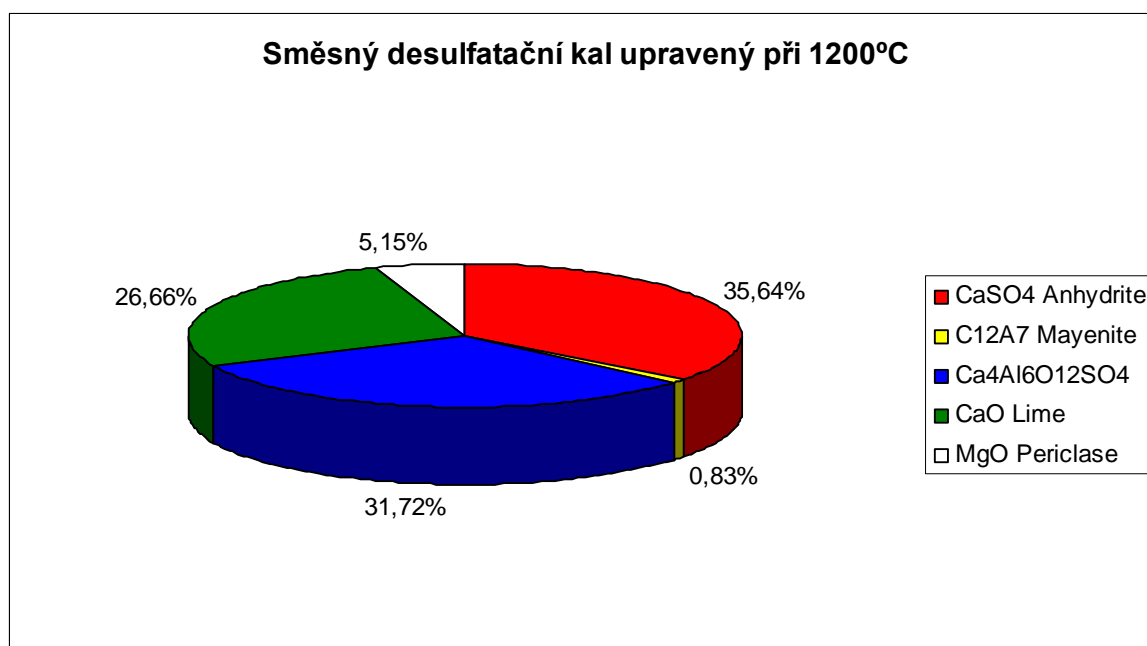
Obr. 19: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1000 °C (termická výdrž 30 minut)



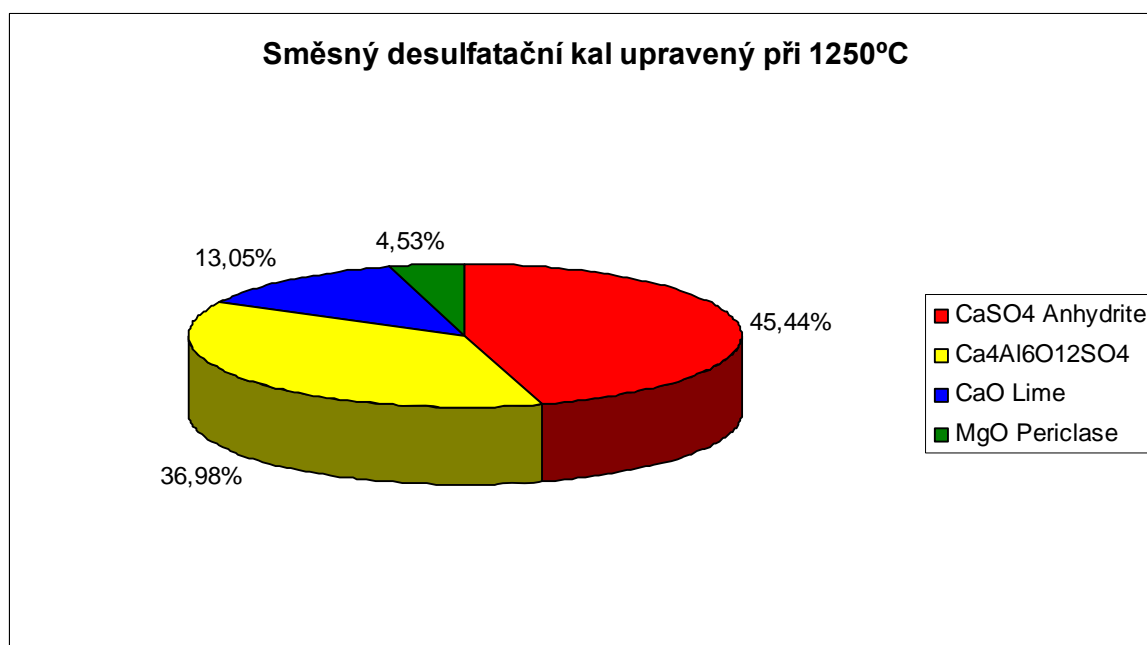
Obr. 20: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1100 °C (termická výdrž 30 minut)



Obr. 21: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1100 °C (termická výdrž 60 minut)



Obr. 22: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1200 °C (termická výdrž 30 minut)



Obr. 23: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1250 °C (termická výdrž 30 minut)

6.1.1 Dílčí závěr

Pro náhradu a modifikaci sádrového pojiva v množství 5 hm.%, jsou nejprůkaznější výsledky u směsného desulfatačního kalu upraveného při teplotě 1100 a 1200 °C.

Oproti komparačnímu vzorku SG0 vykazoval vzorek SG6 (upravený při teplotě 1100 °C) největší nárůst u 48 denní pevnosti v tlaku o 48,02 %

Vzorek SG7 vykazoval oproti komparační u 2 hodinové pevnosti nárůst o 37,43 % u pevnosti v tahu za ohybu, a o 37,24 % u pevnosti v tlaku; u 7 denní pevnosti nárůst o 20,96 % u pevnosti v tahu za ohybu, a o 48,02 % u pevnosti v tlaku.

Z toho vyplývá, že u obou sádrových směsí na bázi směsného desulfatačního kalu byl dosažen shodný nárůst oproti komparační směsi u 48 denní pevnosti v tlaku o 48,02 %.

Z ekonomického hlediska se jako optimální teplota úpravy jeví úprava směsného desulfatačního kalu na teplotu 1100 °C. Dále se sledoval teplotní průběh úpravy, kdy směsný desulfatační kal byl předsušen při teplotě 90 °C a dále byl termicky „aktivován“ – dosažení požadované teploty do pěti hodin, setrvání na požadované teplotě (půl hodiny) a přirozené (samovolné) chladnutí směsného desulfatačního kalu.

Pro průmyslový způsob termické aktivace, směsného desulfatačního kalu, je požadovaný teplotní režim rozdělen do čtyř teplotních pásem – sušící, předehřívací, kalcinační a chladicí. Z důvodu patentového řízení není možná bližší specifikace.

6.2 Ověření možnosti využití směsného desulfatačního kalu v maltovinách

Malta (maltovina) je stavivo, které se připravuje smíšením drobného kameniva, anorganického pojiva, popřípadě i přísad a příměsí a následným rozmícháním vzniklé granulární směsi vodou na požadovanou konzistenci.

V průběhu základních pojivových roztěrů, kdy se míchal směsný desulfatační kal s vodou, bylo pozorováno, že se zvyšující se teplotou výpalu dochází cca po určité době po smíchání s vodou k exotermní reakci – uvolňovalo se hydratační teplo.

Při hašení upraveného desulfatačního kalu, směs tvořila ve vodě nerozpustné hrudky. Hydratační teplo při hašení bylo 49 °C. t_{60} (min.) = 12 min. Uvedené hodnoty byly měřeny pouze orientačně laboratorním teploměrem a chronometrem. Na základě tohoto chování při hašení byl pro orientaci v chování směsi vypočten hydraulický modul podle vzorce pro výpočet hydraulického modulu vápna.

Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 27. Z těchto důvodů byl proveden chemický rozbor vzorku směsného desulfatačního kalu termicky upraveného při 1100 °C, který byl použit jako náhrada pojiva v experimentálních maltových směsích. Chemický rozbor byl proveden v laboratořích Kotouče Štramberk na rentgenovém difraktometru AXIOS Panalytical. Celkem byly analyzovány 4 vzorky viz tab. 26.

Tab. 26: Výsledky rozborů laboratoři Kotouče Štramberk

Chemické složení		Mleté vápno CaO Kotouč Štramberk	Vzorky Upravený směsný desulfatační kal		
			S_MVČSA-1100	S_MVČSA-1100S	S_MVČSA-1200
Zž.	%	-	17,65	4,17	5,99
SiO ₂	%	1,72	0,53	0,93	0,66
Fe ₂ O ₃	%	0,21	0,07	5,33	4,44
Al ₂ O ₃	%	0,21	14,18	10,64	10,61
CaO	%	90,43	53,19	67,56	68,41
MgO	%	0,92	3,25	3,62	3,26
SO ₃	%	0,28	9,49	6,96	5,94
Na ₂ O	%	-	1,39	0,43	0,38
K ₂ O	%	-	0,09	0,07	0,04
TiO ₂	%	-	-	0,04	0,03
Cl	%	-	0,09	0,05	0,04
MnO	%	-	0,03	0,08	0,06
P ₂ O ₅	%	-	0,02	0,01	0,01
F	%	-	-	-	-
NiO	%	-	-	0,01	0,02
ZnO	%	-	0,01	0,02	0,02
SrO	%	-	0,02	0,07	-
BaO	%	-	-	-	-
Co ₃ O ₄	%	-	-	-	-
As ₂ O ₃	%	-	-	-	-
Barva		bílá	bílá	zelenošedá	šedá

Pozn.: S_MVČSA-1100 - směsný desulfatační kal vypálený při teplotě 1100 °C, míchaný v dubnu 2008;
S_MVČSA-1100S - směsný desulfatační kal vypálený při teplotě 1100 °C, míchaný v srpnu 2007;
S_MVČSA-1200 - směsný desulfatační kal vypálený při teplotě 1200 °C, míchaný v dubnu 2008.

Upravený desulfatační kal ve směsi s pískem jako maltové pojivo svým charakterem, naměřenými hodnotami pevností v tahu za ohybu a tlaku a způsobem chování při hašení odpovídá středně hydraulickému vápnu.

Z naměřených hodnot byl vypočítán hydraulický modul jednotlivých vzorků uvedených v tab. 25. Hydraulický modul byl počítán dle vzorce pro výpočet hydraulického modulu vápna:

$$H_M = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Výsledky hydraulického modulu jednotlivých vzorků upraveného desulfatačního kalu jsou uvedeny v tab. 27.

Tab. 27: Hydraulický modul vzorků upraveného desulfatačního kalu

Vzorek	Mleté vápno CaO Kotouč Štramberk	S_MVČSA-1100	S_MVČSA-1100S	S_MVČSA-1200
Hydraulický modul	42,25	3,60	4	4,35

Pro ověření možnosti využití směsného desulfatačního kalu v maltovinách byly navrženy směrné receptury experimentálních maltových směsí na bázi směsného desulfatačního kalu. Dávkování jednotlivých složek bylo objemovými díly. Směrné receptury maltových směsí na bázi upraveného směsného desulfatačního kalu jsou uvedeny v tab. 28.

Tab. 28: Směrné receptury

Složky experimentálních záměsí	Dávkování (objemový díl)							
	Záměs K	Záměs E2	Záměs E2.1	Záměs E3.1	Záměs E4.1	Záměs E5	Záměs E6	Záměs E7.1
Písek kopaný Lokalita Závada 0-2 mm	900	900	900	900	900	900	900	900
Vápenný hydrát Kotouč Štramperk CL90	300	-	-	100	200	270	240	-
Směsný desulfatační kal 1100°C	-	300	300	200	100	30	60	300
Ergosádrovec Velké Opatovice	-	-	6	4	2	-	-	12
Lignosulfonan Vápenatý Borremet Ca 120	-	2	6	4	2	-	-	12
Záměšová voda	300	300	300	300	300	300	300	300

Opět byly vzorky jednotlivých směrných záměsí podrobeny testování fyzikálně-mechanických vlastností maltových záměsí – stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku na konci trámečků, stanovení přídržnosti zatvrdlé malty k podkladu.

Fyzikálně mechanické vlastnosti maltových záměsí

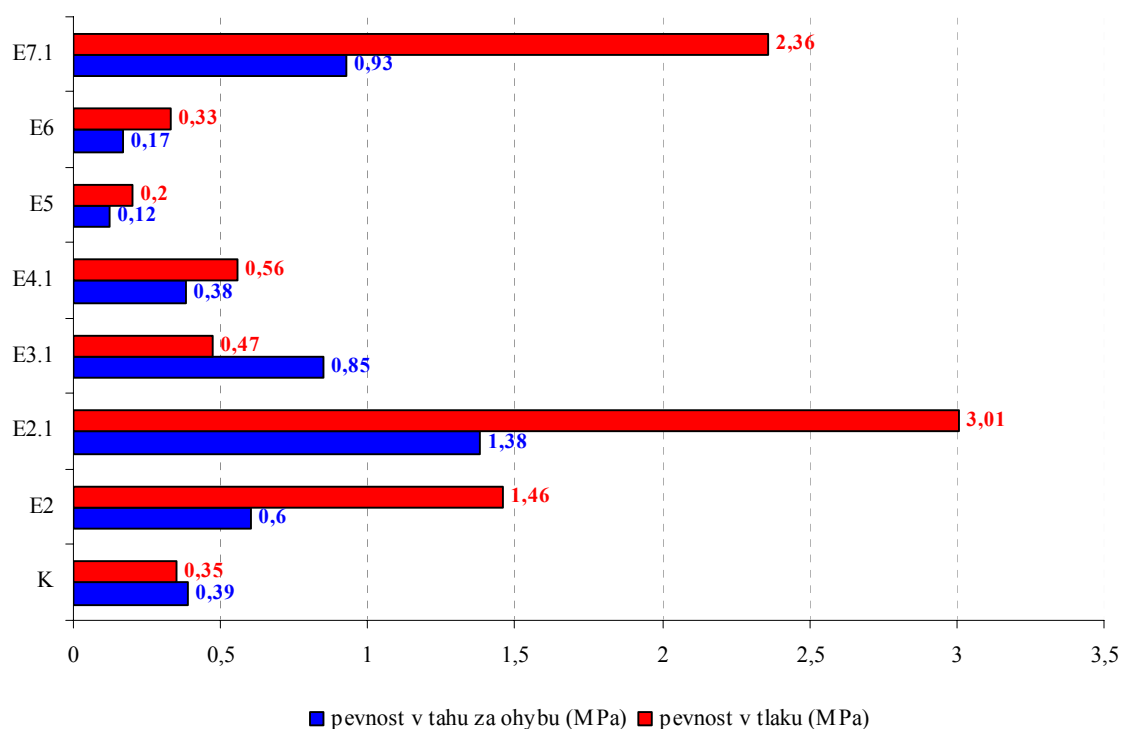
Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku na konci trámečků

Na účelem zjištění fyzikálně mechanických vlastností maltových záměsí byly vyrobeny od každé experimentální záměsí 3 zkušební tělesa rozměrů 40 x 40 x 160 mm. Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku na konci trámečků experimentálních záměsí byly zkoušeny dle ČSN EN 1015-11. Naměřené výsledky jsou zpracovány tabelárně viz. tab. 29 a graficky viz obr. 24.

Z výše prezentovaných výsledků je patrné, že nejvyšších pevností bylo dosaženo při 100% náhradě vápna upraveným desulfatačním kalem při teplotě 1100 °C. Při srovnání komparační záměsí (záměs K) s experimentální záměsí E2 došlo k nárůstu pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační záměsí o 154 % a pevnost v tlaku o 417 %. Při srovnání komparační záměsí (záměs K) s experimentální záměsí E2.1 došlo k nárůstu pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační záměsí o 353 % a pevnost v tlaku o 860 %. Při srovnání komparační záměsí (záměs K) s experimentální záměsí E7.1 došlo k nárůstu pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační záměsí o 238 % a pevnost v tlaku o 674 %. Přičemž jako optimální způsob retardace hydratace je použití směsi lignosulfonanu vápenatého a ergosádrovce v dávce 2 % z objemového množství upraveného desulfatačního kalu.

Tab. 29: Tabelárně zpracované výsledky fyzikálně mechanických vlastností směrných experimentálních maltových směsí

Označení záměsí	Číslo vzorku	Hmotnost	Objemová hmotnost	Pevnost v tahu za ohybu			Pevnost v tlaku na konci trámečků			
				Zatěžovací síla	Pevnost	Ø Pevnost	Tlačná plocha	Zatěžovací síla	Pevnost	Ø Pevnost
		[kg]	[kg.m ⁻³]	[kN]	[N·mm ⁻²]	[N·mm ⁻²]	[mm ²]	[kN]	[N·mm ⁻²]	[N·mm ⁻²]
Záměs K	1	0,434	1695	-	-		1600	0,445	0,28	
	2	0,438	1710	0,155	0,363	0,39	1600	0,775	0,49	0,35
	3	0,441	1722	0,175	0,410		1600	0,405	0,27	
Záměs E1	1	0,427	1668	0,276	0,646		1600	2,4	1,50	
	2	0,428	1671	0,229	0,536	0,60	1600	1,9	1,18	1,46
	3	0,427	1668	0,262	0,613		1600	2,72	1,70	
Záměs E2.1	1	0,448	1750	0,576	1,349		1600	4,60	2,88	
	2	0,431	1685	0,593	1,389	1,38	1600	4,82	3,02	3,01
	3	0,426	1664	0,598	1,401		1600	5,02	3,14	
Záměs E3.1	1	0,461	1801	0,345	0,808		1600	0,62	0,39	
	2	0,467	1824	0,336	0,787	0,85	1600	0,77	0,48	0,47
	3	0,458	1789	0,403	0,943		1600	0,86	0,54	
Záměs E4.1	1	0,480	1875	0,166	0,383		1600	0,715	0,45	
	2	0,475	1855	0,151	0,353	0,38	1600	0,88	0,55	0,56
	3	0,469	1832	0,175	0,410		1600	1,1	0,69	
Záměs E5.1	1	0,475	1855	0,047	0,110		1600	0,36	0,23	
	2	0,481	1879	0,053	0,124	0,12	1600	0,33	0,21	0,20
	3	0,482	1882	0,049	0,114		1600	0,24	0,15	
Záměs E6.1	1	0,461	1801	0,073	0,171		1600	0,55	0,34	
	2	0,463	1808	0,074	0,173	0,17	1600	0,55	0,34	0,33
	3	0,457	1785	0,075	0,175		1600	0,48	0,30	
Záměs E7.1	1	0,434	1695	0,394	0,923		1600	3,8	2,38	
	2	0,435	1699	0,407	0,953	0,93	1600	3,47	2,17	2,36
	3	0,427	1668	0,393	0,920		1600	4,06	2,54	



Obr. 24: Pevnostní charakteristiky experimentálních směrných maltových směsí

Výstavba zkušební stěny

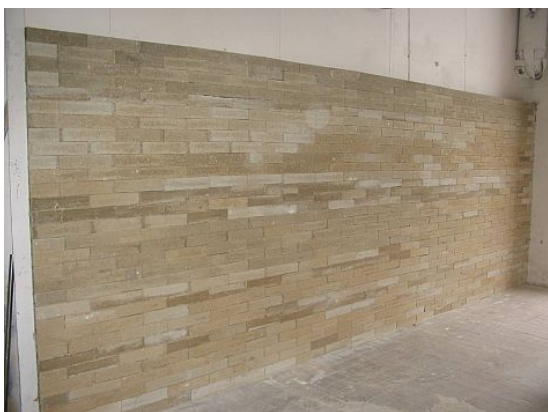
Pro odzkoušení aplikace a pozorování rozvoje mikrotrhlin omítky na bázi směsného desulfatačního kalu byla postavena zkušební stěna v prostorách firmy D&DAXNER TECHNOLOGY s.r.o. jako materiál byla použita tvarovky z lehkého betonu daxner[®] rozměru 290 x 140 x 65 mm. Fyzikálně mechanické vlastnosti tvarovky z lehkého betonu daxner[®] jsou uvedeny v tab. 30.

Tab. 30: Fyzikálně mechanické vlastnosti tvarovky z lehkého betonu daxner[®]

Objemová hmotnost (kg·m ⁻³)	1031
Pevnost v tlaku (N·mm ⁻²)	4,7
Pevnost v tahu za ohybu (N·mm ⁻²)	0,97
Požární odolnost (min.)	60
Tepelná vodivost λ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0,1
Tepelný odpor R (m ² ·K·W ⁻¹) při tl. 65 mm	0,63
Součinitel difuzního odporu (m)	9
Vlhkostní roztažnost (mm ² ·m ⁻¹)	4,52
Vážená vzduchová neprůzvučnost RW (dB·m ⁻²) při tl. 65 mm	37
Třída reakce na oheň	B – s1, d0

Zkušební plocha stěny činí 10 m² viz obr. 25 Tloušťka stěny je 140 mm. Pro vlastní výstavbu stěny byla použita běhounová vazba zdiva viz obr. 26.

Část zkušební stěny byla rozdělena omítníky (tloušťky 20 mm) ve vzdálenosti 0,5 m na pásy, ve kterých bude nanesena zkušební omítka komparační a na bázi směsného desulfatačního kalu viz obr. 27.



Obr. 25: Pohled na zkušební stěnu plochy 10 m² – foto Václavík



Obr. 26: Pohled na detail běhounové vazby zdiva – foto Václavík

Jako podkladní povrch pro minerální omítku byla použita omítka daxner® interiérová s celulózou v tloušťce cca 5 mm. Fyzikálně mechanické vlastnosti uvedené omítky jsou uvedeny v tab. 31. Omítka byla nanášena pomocí zubatého nerezového zednického hladítka viz obr. 28.



Obr. 27: Pohled na připravené zkušební pásy pro aplikaci omítky na bázi SD kalu – foto Václavík

Tab. 31: Fyzikálně mechanické vlastnosti omítky daxner® interiérové s celulózou

Objemová hmotnost	950 kg·m ⁻³
Přidržnost k podkladu	≥ 0,2 N·mm ⁻²
Odolnost proti úderu	5 mm
Součinitel difúzního odporu [μ]	≤ 35
Tepelná vodivost λ	0,29 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Pevnost v tlaku	0,4 N·mm ⁻²
Vydatnost při vrstvě tl. 5 mm	4,1 kg·m ⁻²
Zpracovatelnost	≥ 60 min.

Celkový pohled na připravenou zkušební stěnu pro aplikaci minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu je uveden na obr. 29.



Obr. 28: Způsob nanášení omítky daxner® interiérové s celulózou pomocí zubatého nerezového zednického hladítka – foto Václavík



Obr. 29: Pohled na připravenou zkušební stěnu aplikaci minerální omítky na bázi SD kalu – foto Václavík

Tab. 32: Hodnoty přídržnosti experimentálních směsí na pórobetonu

Exper. záměs	Označ. vzorku	Rozměr vzorku d [mm]	Plocha vzorku [mm ²]	Síla potřebná k odtržení terče [N]	Přídržnost k podkladu [N·mm ⁻²]	Přídržnost k podkladu Ø [N·mm ⁻²]	Způsob odtržení od podkladu
Záměs K	1	42,2	1398	8	0,006		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (100%)
	2	43,1	1458,2	9	0,006		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (100%)
	3	46	1661,1	51	0,031	0,032*	Porušení ve vrstvě malty (100% ve hmotě)
	4	44,5	1554,5	49	0,032		Porušení ve vrstvě malty (100% ve hmotě)
	5	44,4	1547,5	10	0,006		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (100 %)
Záměs E2	1	40,1	1262,3	76	0,060		Porušení spojení v povrchové vrstvě (100 %)
	2	41	1316,6	87	0,066		Porušení spojení v povrchové vrstvě (100 %)
	3	42,2	1398	44	0,031	0,062**	Porušení spojení v povrchové vrstvě (100 %)
	4	43,6	1492,3	63	0,042		Porušení spojení v povrchové vrstvě (100 %)
	5	44,4	1547,5	92	0,059		Porušení spojení v povrchové vrstvě (100 %)

Pozn. : * Průměrná hodnota přídržnosti k podkladu u Záměsi K byla počítána ze vzorku 3 a 4.

** Průměrná hodnota přídržnosti k podkladu u Záměsi E2 byla počítána ze vzorku 1, 2 a 5.

Tab. 33: Hodnoty přídržnosti experimentálních směsí naměřené na zkušební stěně

Exper. záměs	Označ. vzorku	Rozměr vzorku d [mm]	Plocha vzorku [mm ²]	Síla potřebná k odtržení terče [N]	Přídržnost k podkladu [N·mm ⁻²]	Přídržnost k podkladu Ø [N·mm ⁻²]	Způsob odtržení od podkladu
Záměs K	1	47	1734,1	90	0,052	0,022*	Porušení ve vrstvě malty (100%)
	2	47	1734,1	45	0,026		Porušení ve vrstvě malty (100%)
	3	45,5	1625,1	5	0,003		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (75%)
	4	47	1734,1	30	0,017		Porušení ve vrstvě malty (100%)
	5	46,5	1632,3	10	0,006		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (90 %)
Záměs E2	1	48,3	1831,3	165	0,100	0,044**	Porušení ve vrstvě malty (100%)
	2	48	1808,6	80	0,044		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (50%)
	3	48	1808,6	60	0,033		Porušení ve vrstvě malty (100%)
	4	48,5	1846,5	100	0,054		Porušení ve vrstvě malty (100%)
	5	47,5	1771,2	185	0,104		Porušení spojení mezi maltou a podkladem (50%)

Pozn.: * Průměrná hodnota přídržnosti k podkladu u Záměsi K byla počítána ze vzorku 2 a 4.

** Průměrná hodnota přídržnosti k podkladu u Záměsi E2 byla počítána ze vzorku 2, 3 a 4.

Stanovení přídržnosti zatvrdlé malty k podkladu bylo prováděno pracovníky laboratoří Technického a zkušebního ústavu stavebního – pobočky Ostrava. Přídržnost ztvrdlé malty k podkladu podle ČSN EN 1015-12 vyjadřuje maximální napětí v tahu (Mpa) vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu malty nanesené na podkladu (pálené zdící prvky, pórobetonové tvárnice, betonové desky apod.). Tahové zatížení se vyvozuje prostřednictvím zkušebního zatížení (odtahové stroje) a tuhého odtahového terče z korozivzdorné oceli přilepeného obvykle epoxidovým lepidlem na zkoušenou kruhovou plochu povrchu malty, která je stejné velikosti jako zkušební terč. Příslušná kruhová plocha se vytváří vyříznutím ve větší ploše nanesené malty. Vyříznutí v zatvrdlé maltě se provádí až do vlastního podkladu (hloubka zářezu cca 2 mm).

Pro stanovení tohoto parametru bylo použito:

- zkušební těleso z pórobetonu o velikosti 500 x 250 x 50 mm na které byla nanesena komparační (záměs K) a experimentální záměs E2 bez přednástříku, přímo na podklad v tloušťce 15 mm. Nanesená maltovina byla po dobu 20 dnů kondicionována při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 66 až 70 %. Naměřené experimentální hodnoty jsou uvedené v tab. 32,
- komparační záměs K, experimentální záměs E2.1a experimentální záměs E7.1 byly nanесeny na zkušební stěně z cihel daxner® (viz. obr. 25 – 29). Povrch zkušební stěny byl opatřen

stěrkou na bázi celulózy daxner®, jako přednástřík pro sjednocení savosti a zdrsnění podkladu. Výše uvedené záměsi byly nanášeny ručně, zednickou lžící v tloušťce 15 mm a povrch byl srovnán trapézovou hliníkovou zednickou latí. Malta byla kondicionována při teplotě 20 °C při relativní vlhkosti 60 %. Naměřené hodnoty jsou uvedené v tab. 33.

6.2.1 Dílčí závěr

Upravený směsný desulfatační kal ve směsi s pískem jako maltové pojivo svým charakterem, naměřenými hodnotami pevností v tahu za ohybu a tlaku a způsobem chování při hašení odpovídá středně hydraulickému vápnu.

Z výše prezentovaných výsledků je patrné, že nejvyšších pevností bylo dosaženo při 100% náhradě vápna upraveným směsným desulfatačním kalem při teplotě 1100 °C. Při srovnání komparační záměsi (záměs K) s experimentální záměsí E2 došlo k nárůstu pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační záměsí o 154 % a pevnost v tlaku o 417 %. Při srovnání komparační záměsi (záměs K) s experimentální záměsí E2.1 došlo k nárůstu pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační záměsí o 353 % a pevnost v tlaku o 860 %. Při srovnání komparační záměsi (záměs K) s experimentální záměsí E7.1 došlo k nárůstu pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační záměsí o 238 % a pevnost v tlaku o 674 %. Přičemž jako optimální způsob retardace hydratace je použití směsi lignosulfonanu vápenatého a energosádrovce v dávce 2 % z objemového množství upraveného desulfatačního kalu.

Pro odzkoušení aplikace a pozorování rozvoje mikrotrhlin omítky na bázi směsného desulfatačního kalu byla postavena zkušební stěna v prostorách firmy D&DAXNER TECHNOLOGY s.r.o. jako materiál byla použita tvarovky z lehkého betonu daxner® rozměru 290 x 140 x 65 mm.

Vlastní zkouška přídržnosti zatvrdlé maltové směsi byla provedena dle ČSN EN 1015-12 Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu.

Na základě výsledků uvedených v tab. 32 a 33 a ČSN EN 1015-2 je možno říci, že přídržnost zatvrdlé malty komparační záměsí K a záměsí E2 na pórobetonu a zkušební stěně je větší než naměřená hodnota.

6.3 Návrh receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu

Za účelem návrhu receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu bylo potřeba optimalizovat retardační přísady pro maltové směsi na bázi upraveného směsného desulfatačního kalu. Dále bylo potřeba provést zkoušky mrazuvzdornosti navržené minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu. Zkoušky mrazuvzdornosti byly prováděny v laboratořích Technického a zkušebního ústavu stavebního – pobočky Ostrava.

Optimalizace retardačních přísad

Počátek a doba tuhnutí experimentální kaše o normální konzistenci se zjišťuje Vicatovým přístrojem z odporu, který klade směs vnikání jehly určitého průměru vtlačované konstantní silou.

Zkouška se provedla tak, že se experimentální směs o normální konzistenci nalila do kuželovitého prstence předem vytřeného minerálním olejem (prstenec byl svou širší základnou umístěn na hladké destičce). Po naplnění prstence kaší se 4 až 5 krát prstencem spolu s destičkou poklepalo nadzvednutím a spuštěním jedné strany asi o 10 mm, aby došlo k úniku případných vzduchových bublin. Přebytek kaše se seříznul pravítkem, a prstenec se i s destičkou umístil pod pohyblivou část Vicatova přístroje. Jehla Vicatova přístroje se poté nechala vnikat volně do kaše. Ponoření se provedlo jednou za 30 s, počínaje celou minutou. Po každém vpichu se jehla pečlivě otřela a destička s prstencem se pootočila tak, aby další vpich byl do neporušené vrstvy (obr. 30).



Obr. 30: Měření Vicatovým přístrojem – foto Malíková

Jako **počátek tuhnutí** se definuje doba, která uplyne od okamžiku přidání experimentální směsi do vody do okamžiku, kdy se jehla zastaví nad podložkou. **Doba tuhnutí** je doba od smíchání experimentální směsi s vodou do okamžiku, kdy se jehla nezaboří více než 1 mm od povrchu kaše.

U prvních experimentálních záměsí 2, 3, 4, 5, uvedených v tab. 34, byla provedena zkouška počátku a konce tuhnutí dle ČSN EN 196-3 Metody zkoušení cementu – stanovení dob

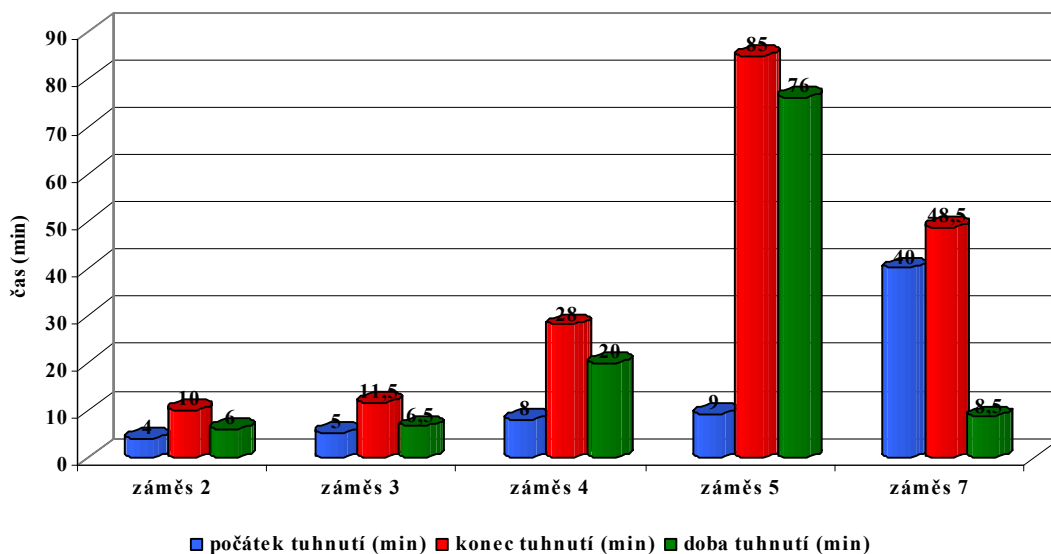
tuhnutí a objemové stálosti (viz obr. 31). U záměsí 1, výše uvedená zkouška počátku a konce tuhnutí, nemohla být provedena, z důvodu zatvrdnutí směsi již při míchání v míchací nádobě. Záměs číslo 6 sloužila jako ověřovací, kde bylo provedeno pouze stanovení počátku tuhnutí, z důvodu srovnání výsledku se záměsí 5.

Z obr. 31 je patrné, že počátek tuhnutí u experimentálních záměsí 2 až 5, kde byl jako regulátor tuhnutí použit energosádrovec se pohyboval v intervalu 4 až 9 min. U experimentální záměsí 7, kde jako regulátor tuhnutí byl aplikován lignosulfonan vápenatý společně s uhličitánem sodným v poměru 1:1 počátek tuhnutí nastal po 40 min. a konec tuhnutí po 48,5 min. Doba tuhnutí u experimentálních záměsí 2, 3 a 7 se pohybovala v intervalu 6 až 8,5 min. Nejdelší doba tuhnutí byla zaznamenána u záměsí 5 a to 76 min.

U dalších 4 experimentálních záměsí byl jako retardační přísada použit jen energosádrovec, viz tab. 35. Na obr. 32 jsou znázorněny průběhy tuhnutí v závislosti na množství energosádrovce.

Tab. 34: Experimentální záměsí pro optimalizaci retardačních přísad

Experimentální záměs	Složky experimentální záměsi	Množství (g)
Záměs 1	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Voda	264
Záměs 2	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Ergosádrovec	150
	Voda	264
Záměs 3	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Ergosádrovec	150
	Voda	300
Záměs 4	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Ergosádrovec	225
	Voda	350
Záměs 5	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Ergosádrovec	300
	Voda	400
Záměs 6	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Ergosádrovec	300
	Voda	300
Záměs 7	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	300
	Lignosulfonan vápenatý + uhličitán sodný v poměru 1:1	30
	Voda	219



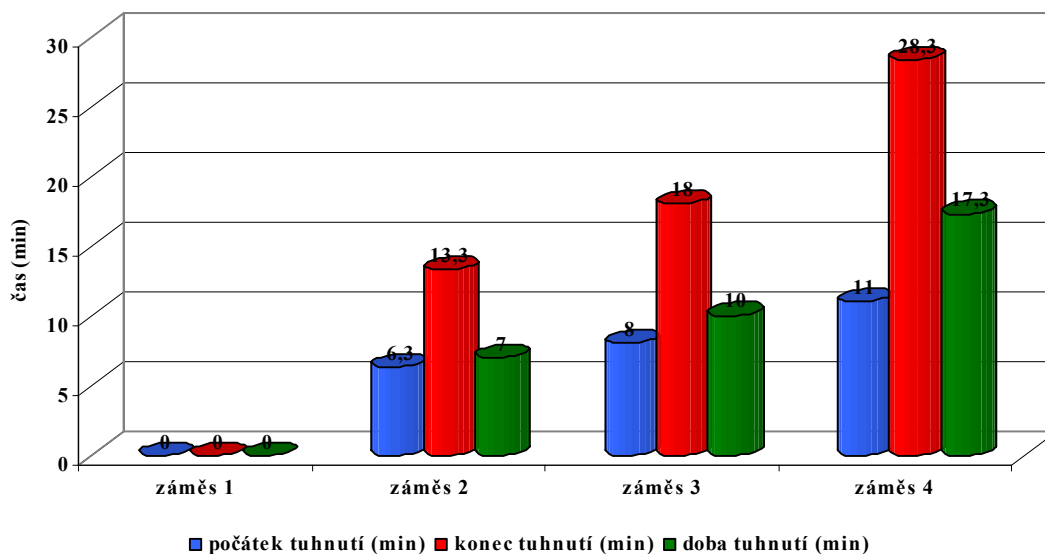
Obr. 31: Počátek a konec tuhnutí experimentálních záměsů na bázi termicky upraveného směsného desulfatačního kalu při teplotě 1100 °C z lokality Most

Tab. 35: Složení experimentální záměsí za použití energosádrovce jako retardéru

Experimentální záměs	Složky experimentální záměsí	Množství (g)	Potence (hm.%) SD kalu energosádrovcem
Záměs 1	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	240	0
	Voda	90	
Záměs 2	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	168	30
	Energosádrovec	72	
	Voda	90	
Záměs 3	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	144	40
	Energosádrovec	96	
	Voda	90	
Záměs 4	Termicky upravený desulfatační kal při teplotě 1100°C	120	50
	Energosádrovec	120	
	Voda	90	

U experimentálních záměsů 2, 3, a 4 uvedených v tab. 34 byla provedena zkouška počátku a konce tuhnutí dle EN 196-3 Metody zkoušení cementu – stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti viz obr. 32. U záměsi 1, výše uvedená zkouška počátku a konce tuhnutí nebyla provedena z důvodu zatvrdnutí směsi již při míchání v míchací nádobě.

Z obr. 32 je patrné, že počátek tuhnutí se u experimentálních záměsů 2 až 4, kde byl jako regulátor tuhnutí použit energosádrovec pohyboval v intervalu 6 až 11 min., konec tuhnutí v intervalu 13 až 28 min. Doba tuhnutí u experimentálních záměsů 2, 3 a 4 se pohybovala v intervalu 7 až 17 min. Nejdelší doba tuhnutí byla zaznamenána u záměsi 4 a to 17 min.



Obr. 32: Počátek a konec tuhnutí experimentálních záměsů na bázi termicky upraveného směsného desulfatačního kalu při teplotě 1100 °C z lokality Sokolov za použití energosádrovce jako retardéru

Zkouška mrazuvzdornosti

Při zkoušce mrazuvzdornosti maltovin na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu bylo vycházeno z normy ČSN 72 2452 – Zkouška mrazuvzdornosti malty.

Pro zkoušky mrazuvzdornosti maltoviny s použitím mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most byla použita následující receptura:

- 1,8 hmot. dílu písku fr. 0/2 mm;
- 0,66 hmot. dílu mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu, retardovaného směsí lignosulfonanu vápenatého a uhličitanu sodného;
- 1 hmot. díl vody.

Pro zkoušky mrazuvzdornosti maltoviny s použitím mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Sokolov byla použita následující receptura:

- 1,8 hmot. dílu písku fr. 0/2 mm;
- 0,66 hmot. dílu mechanotermicky aktivovaného kalu, retardovaného 50 hm.% energosádrovcem
- 1 hmot. díl vody.

Mrazuvzdornost byla zkoušena na trámečcích rozměru 40 x 40 x 160 mm stáří 28 dnů. Celkem bylo vyrobeno 8 sad zkušebních těles (24 zkušebních trámečků). Čtyři zkušební sady pro maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most a čtyři zkušební sady z lokality Sokolov. Zkušební tělesa před vlastní zkouškou mrazuvzdornosti byla uložena v laboratorním prostředí o vlhkosti 50 %, při teplotě 20 °C. Počet zmrazovacích cyklů

byl stanoven na 5, 10 a 15, přičemž jeden zmrazovací cyklus se skládal ze 4 hodin zmrazování na teplotu -20 °C a 2 hodin rozmrazování na teplotu +20 °C.

Malta je považována za mrazuvzdornou pro zkoušený počet cyklů za podmínky, že úbytek pevnosti zmrazovaných vzorků proti pevnosti referenčních vzorků není větší než 25 % pevnosti referenčních vzorků.

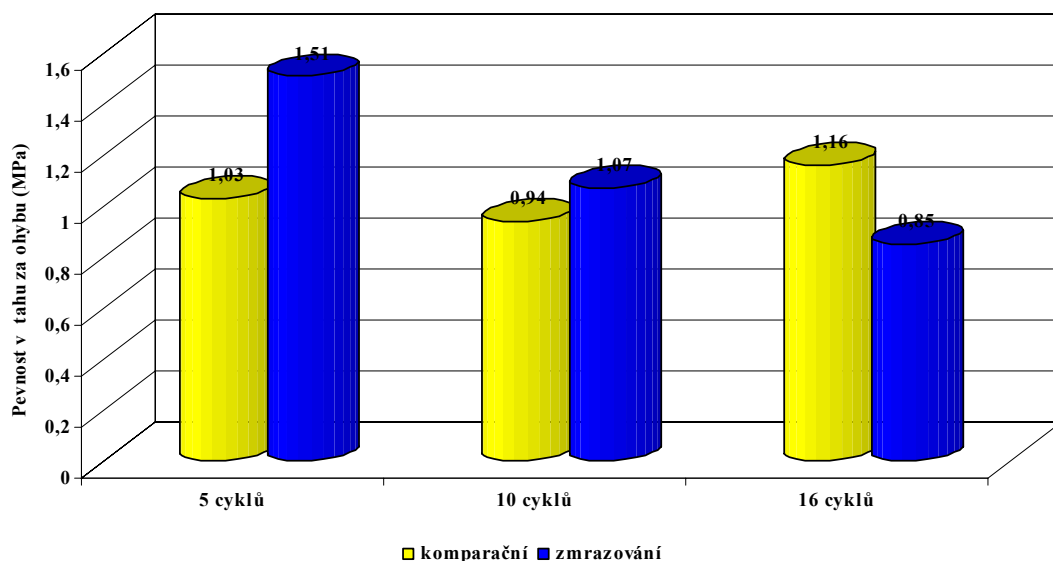
Výsledky zkoušky mrazuvzdornosti maltovin na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu jsou znázorněny na obr. 33 a 34.

Z obr. 33 je patrné, že pevnost v tahu za ohybu komparační maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most se pohybovala v intervalu 1,03 až 0,95 MPa. Nárůst pevnosti v tahu za ohybu maltoviny, která byla podrobena zmrazování oproti maltovině komparační, nastal po 5 a 10 cyklech, pokles byl zaznamenán po 15 cyklech. Po 5 cyklech nárůst pevnosti v tahu za ohybu zmrazované maltoviny v porovnání s komparační maltovinou na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu byl 1,46 krát, po 10 cyklech 1,13 krát, po 15 cyklech pokles pevnosti v tahu za ohybu činil 27 %. Jelikož po 15 cyklech zmrazování byl zaznamenán pokles pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační maltovině o více 25 %, můžeme říci že, maltovina na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most je mrazuvzdorná pro 10 cyklů zmrazování.

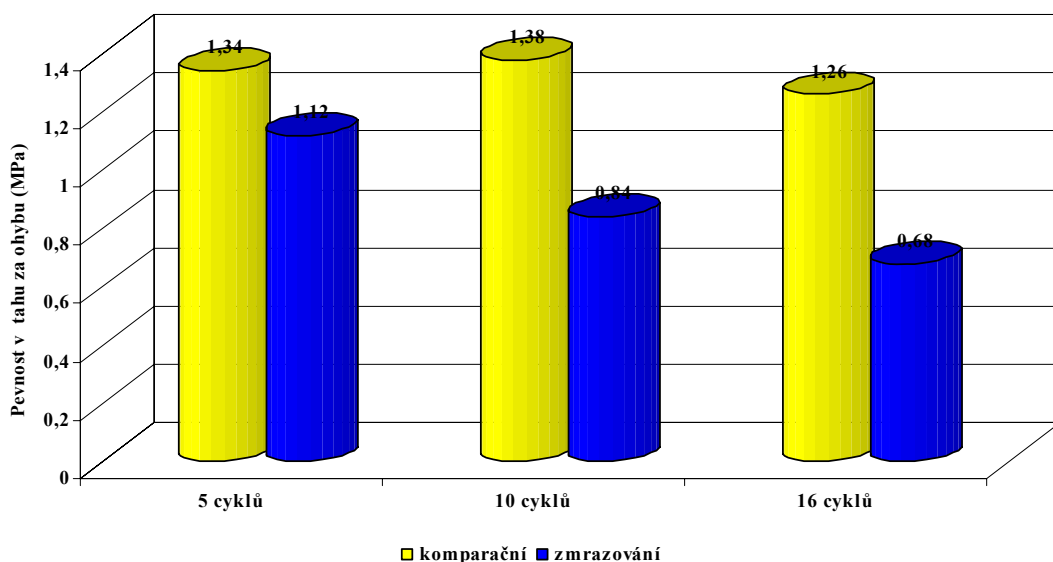
Na obr. 34 je patrné, že pevnost v tahu za ohybu komparační maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Sokolov se pohybovala v intervalu 1,26 až 1,38 MPa.

U všech cyklů zmrazování (5, 10 a 15) došlo k poklesu pevnosti v tahu za ohybu zmrazované maltoviny oproti maltovině komparační na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu. U 5 cyklů pokles činil 17 %, u 10 cyklů 39 % a u 15 cyklů 50 % oproti komparační maltovině. Z výše uvedeného plyne závěr, že maltovina na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Sokolov je mrazuvzdorná pro 5 cyklů, jelikož pokles pevnosti v tahu za ohybu nebyl nižší než 25 %.

Pokles pevnosti v tahu za ohybu o více jak 25 % po 10 a 15 cyklech zmrazování, je způsoben vysokým obsahem volného vápna v mechanotermicky aktivovaném směsném desulfatačním kalu z lokality Sokolov.



Obr. 33: Graf pevnosti v tahu za ohybu maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného desulfatačního kalu z lokality Most



Obr. 34: Graf pevnosti v tahu za ohybu maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného desulfatačního kalu z lokality Sokolov

6.3.1 Dílčí závěr

Jako optimální regulátor tuhnutí mechanotermicky aktivovaného směsné desulfatačního kalu lokality Most je směs lignosulfonanu vápenatého a uhličitanu sodného.

Jako optimální regulátor tuhnutí mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Sokolov je energosádrovec v množství 50 %hmot. mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu.

Jelikož po 15 cyklech zmrazování byl zaznamenán pokles pevnosti v tahu za ohybu oproti komparační maltovině o více 25 %, můžeme říci že, maltovina na bázi mechanotermicky

aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most je mrazuvzdorná pro 10 cyklů zmrazování.

Pokles pevnosti v tahu za ohybu o více jak 25 % po 10 a 15 cyklech zmrazování, je způsoben vysokým obsahem volného vápna v mechanotermicky aktivovaném směsném desulfatačním kalu z lokality Sokolov.

Maltovina na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most je mrazuvzdorná pro 10 cyklů zmrazování. Maltovina na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Sokolov je mrazuvzdorná pro 5 cyklů zmrazování.

Na základě provedených zkoušek maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu je možné ji využít:

- v opravných maltovinách pro interiéry (s retardérem);
- pro expanzivní maltoviny (trhací maltoviny);
- jako materiál pro výbuchuvzdorné krátkodobé hráze ve štolách při hlubinném dobývání uhlí.

7 ZÁVĚR

Práce splnila hlavní cíle vytyčené v úvodní části, neboť se podařilo prokázat a ověřit možnost racionálního využití desulfatačního kalu v experimentálních sádrových a maltových směsích. Výsledky uvedené v disertační práci představují důležité poznatky.

V rámci optimalizace průběhu tepelné úpravy směsného desulfatačního kalu bylo zjištěno, že nejlepších výsledků experimentálních směsí na bázi směsného desulfatačního kalu bylo dosaženo při použití tepelně upraveného směsného desulfatačního kalu při teplotě 1100 °C. Teplotní průběh úpravy byl následující: směsný desulfatační kal byl předsušen při 90 °C a dále byl termicky aktivován na teplotu 1100 °C. Nárůst požadované teploty trval 5 hodin. Požadována teplota byla udržována po dobu 30 minut a poté se směsný desulfatační kal nechal přirozeně vychladnout.

Při ověření možnosti využití upraveného směsného desulfatačního kalu jako pojiva nebo přísady v maltovinách pro omítání bylo zjištěno, že:

Upravený směsný desulfatační kal ve směsi s pískem jako maltové pojivo svým charakterem odpovídá středně hydraulickému vápnu. Nejvyšších pevností u experimentálních směsí bylo dosaženo při 100% náhradě vápna.

Za účelem návrhu receptury minerální omítky na bázi směsného desulfatačního kalu bylo zapotřebí optimalizovat výběr retardační přísady a ověřit danou recepturu na mrazuvzdornost. Jako vhodný regulátor tuhnutí mechanotermicky aktivovaného kalu – z lokality Most je směs lignosulfonanu vápenatého a uhličitanu sodného a – z lokality Sokolov je energosádrovec v množství 50 hm.% mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu. Maltovina na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Most je mrazuvzdorná pro 10 cyklů zmrazování. Maltovina na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu z lokality Sokolov je mrazuvzdorná pro 5 cyklů zmrazování.

Na základě provedených zkoušek maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného směsného desulfatačního kalu je možné ji využít:

- v opravných maltovinách pro interiéry (s retardérem);
- pro expanzivní maltoviny (trhací maltoviny);
- jako materiál pro výbuchuvzdorné krátkodobé hráze ve štolách při hlubinném dobývání uhlí.

Výsledný návrh receptury minerální omítky na bázi mechanotermicky upraveného směsného desulfatačního kalu je: 1,8 hm. dílů písku fr. 0/2 mm; 0,66 hm. dílů mechanotermicky aktivovaného kalu, retardovaného 50 hm.% energosádrovce nebo směsí lignosulfonanu vápenatého a uhličitanu sodného a 1 hm. dílem vody.

7.1 Doporučení pro další výzkum

Výsledkem této práce byl návrh receptury minerální omítky na bázi mechanotermicky upraveného směsného desulfatačního kalu.

V rámci případného následného výzkumu bude nutné ověřit chování navržené receptury minerální omítky na bázi mechanotermicky upraveného směsného desulfatačního kalu v čase, zejména pevnostní parametry z hlediska dlouhodobého časového horizontu a protipožární vlastnosti.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Grafické znázornění metodického postupu testování vhodnosti průmyslového odpadního materiálu určených pro použití ve stavebnictví a příbuzných oblastech[8]	9
Obr. 2: Schéma dehydratace sádrovce a vznik forem CaSO_4	16
Obr. 3: Strukturní model ettringitu (dle Dr. J. Neubauera z Univerzity Erlagen, Germany), kde bleděmodře jsou molekuly vody, modře jsou CaO_8 polyedry, žlutě jsou SO_4^{2-} tetraedry a oranžově jsou Al(OH)_6^{3-} oktadedry[25].	50
Obr. 4: přírodní krystalová forma ettringitu (Patrice Queneau – lokalita Bosséjour, Ceyrat, Clermont-Ferrand, Francie)[26].	51
Obr. 5: přírodní krystalová forma ettringitu (Rob Lavinsky – lokalita N'Chwaniny Mines, Kalahari manganese fields, Provincie Northern Cape, Jižní Afrika)[26].	51
Obr. 6: Vyrovnávací nádrž 1 (přítok UDV ČSA) – foto malíková	54
Obr. 7: Výroba SD kalu (míchadlo EUROSTAR IKA) – foto Malíková	54
Obr. 8: Zahušťování SD kalu na UDV – foto Malíková	55
Obr. 9: Vyrobený SD kal o 82,78 % sušiny – foto Malíková	55
Obr. 10: Sušení SD kalu při laboratorní teplotě – foto Malíková	55
Obr. 11: SD kal před tepelnou úpravou – foto Malíková	55
Obr. 12: SD kal po tepelné úpravě – foto Malíková	55
Obr. 13: SD kal připravený pro další použití – foto Malíková	55
Obr. 14: Zkušební trámečky – foto Malíková	57
Obr. 15: Přípravky pro měření pevností: vlevo – pro pevnost v tahu za ohybu, vpravo – pro pevnost v tlaku – foto Malíková	59
Obr. 16: Pevnostní charakteristiky sádrových směsí – pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku	59
Obr. 17: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu bez termické úpravy	61
Obr. 18: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 900°C (termická výdrž 30 minut)	62
Obr. 19: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1000°C (termická výdrž 30 minut)	62
Obr. 20: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1100°C (termická výdrž 30 minut)	63
Obr. 21: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1100°C (termická výdrž 60 minut)	63
Obr. 22: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1200°C (termická výdrž 30 minut)	64
Obr. 23: Průměrné mineralogické složení směsného desulfatačního kalu upraveného při 1250°C (termická výdrž 30 minut)	64
Obr. 24: Pevnostní charakteristiky experimentálních směrných maltových směsí	69
Obr. 25: Pohled na zkušební stěnu plochy 10 m ² – foto Václavík	70
Obr. 26: Pohled na detail běhounové vazby zdiva – foto Václavík	70
Obr. 27: Pohled na připravené zkušební pásy pro aplikaci omítky na bázi SD kalu – foto Václavík	70

Obr. 28: Způsob nanášení omítky daxner® interiérové s celulózou pomocí zubatého nerezového zednického hladítka – foto Václavík	71
Obr.29: Pohled na připravenou zkušební stěnu aplikaci minerální omítky na bázi SD kalu – foto Václavík	71
Obr. 30: Měření Vicatovým přístrojem – foto Malíková	74
Obr. 31: Počátek a konec tuhnutí experimentálních záměsí na bázi termicky upraveného směsného desulfatačního kalu při teplotě 1100 °C z lokality Most	76
Obr. 32: Počátek a konec tuhnutí experimentálních záměsí na bázi termicky upraveného směsného desulfatačního kalu při teplotě 1100 °C z lokality Sokolov za použití energosádrovce jako retardéru	77
Obr. 33: Graf pevnosti vtahu za ohybu maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného desulfatačního kalu z lokality Most	79
Obr. 34: Graf pevnosti vtahu za ohybu maltoviny na bázi mechanotermicky aktivovaného desulfatačního kalu z lokality Sokolov	79

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdíly mezi α - a β -polohydrátem[16]	15
Tab. 2: Rozdělení sádry podle tuhnutí a podle jemnosti mletí (ČSN 72 2301)	16
Tab. 3: Rozdělení sádry podle jemnosti mletí (ČSN EN 72 2301)	16
Tab. 4: Třídy pevnosti sádry podle ČSN 72 2301	17
Tab. 5: Doporučené použití sádry (ČSN 72 2301)	17
Tab. 6: Vliv vodního součinitele na pevnost zatvrdlé sádry[16]	18
Tab. 7: Aktivátory pro anhydritové pojivo[16]	20
Tab. 8: Druhy vzdušného vápna (ČSN EN 459-2)	20
Tab. 9: Tradiční druhy páleného vápna podle velikosti částic[11]	21
Tab. 10: Označení a třídy hydraulických vápen (ENV 459-1)	25
Tab. 11: Přehled hlavních složek v cementářském slínku	27
Tab. 12: Označování portlandských cementů obvyklé v USA (ASTM C 150, 2002)	28
Tab. 13: Složky ve vícesložkových cementech[16]	33
Tab. 14: Základní druhy cementu (ČSN EN 197-1)	33
Tab. 15: Druhy cementu na všeobecné použití a jejich složení v procentech hmotnosti ¹⁾ (ČSN EN 197-1)	35
Tab. 16: Jakost malty podle objemu složek[16]	38
Tab. 17: Rozdělení malt podle charakteru jejich pojivové složky[10]	39
Tab. 18: Orientační složení mlat pro omítky a spárování podle objemových dílů[6]	40
Tab. 19: Srovnání vlastností vápenné malty a malty s hydraulickým pojivem[10]	41
Tab. 20: Třídění podle vlastností zatvrdlé malty[16]	43
Tab. 21: Souhrn požadavků na zatvrdlé malty[16]	45
Tab. 22: Požadavky na sádrové malty podle ČSN EN 13279-1	47
Tab. 23: Složení testovaných sádrových směsí (množství jednotlivých složek v g)	56
Tab. 24: Pevnostní parametry po 2 hod., 7 a 48dnech stáří experimentálních sádrových směsí	57
Tab. 25: Označení vzorků směšného desulfatačního kalu pro termickou úpravu a následnou RTG analýzu	60
Tab. 26: Výsledky rozborů laboratoří Kotouče Štramberk	66
Tab. 27: Hydraulický modul vzorků upraveného desulfatačního kalu	66
Tab. 28: Směsné receptury	67
Tab. 29: Tabelárně zpracované výsledky fyzikálně mechanických vlastností směrných experimentálních maltových směsí	68
Tab. 30: Fyzikálně mechanické vlastnosti tvarovky z lehkého betonu daxner®	69
Tab. 31: Fyzikálně mechanické vlastnosti omítky daxner® interiérové s celulózou	70
Tab. 32: Hodnoty přídržnosti experimentálních směsí na pórobetonu	71
Tab. 33: Hodnoty přídržnosti experimentálních směsí naměřené na zkušební stěně	72
Tab. 34: Experimentální záměsi pro optimalizaci retardačních přísad	75
Tab. 35: Složení experimentální záměsí za použití energosádrovce jako retardéru	76

10 SEZNAM CITOVANÝCH NOREM

- (1.) ASTM C 150 Standard Specification for Portland Cement (2000).
- (2.) ČSN 72 1206 – 1 Sádrovec a anhydrit jako přísada do cementu (1976).
- (3.) ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. Klasifikace. Všeobecné technické požadavky. Zkušební metody (1980).
- (4.) ČSN 73 2310 Provádění zděných konstrukcí (1988).
- (5.) ČSN 72 2414 (CEN/TR 15124) Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních polymerových omítkových systémů (2005).
- (6.) ČSN 72 2430 – 1 Malty pro stavební účely. Část 1. Společná ustanovení (1992). Nahrazena ČSN EN 998 - 1
- (7.) ČSN 72 2452 Zkouška mrazuvzdornosti malty (1970).
- (8.) ČSN 73 3450 Obklady keramické a skleněné (1979).
- (9.) ČSN EN 196 – 1 Metody zkoušení cementu. Část 1: Stanovení pevnosti (1996).
- (10.) ČSN EN 196 – 2 Metody zkoušení cementu. Část 2: Chemický rozbor cementu (1996).
- (11.) ČSN EN 196 – 3 Metody zkoušení cementu. Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti (1996).
- (12.) ČSN EN 196 – 4 Metody zkoušení cementu. Část 4: Kvantitativní stanovení hlavních složek (1993).
- (13.) ČSN EN 196 – 5 Metody zkoušení cementu. Část 5: Zkouška pucolanity pucolánových cementů (1996).
- (14.) ČSN EN 196 – 6 Metody zkoušení cementu. Část 6: Stanovení jemnosti mletí (1993).
- (15.) ČSN EN 196 – 7 Metody zkoušení cementu. Část 7: Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu (1993).
- (16.) ČSN EN 196 – 8 Metody zkoušení cementu. Část 8: Stanovení hydratačního tepla - Rozpouštěcí metoda (2004).
- (17.) ČSN EN 196 – 9 Metody zkoušení cementu. Část 9: Stanovení hydratačního tepla - Semiadiabatická metoda (2007).
- (18.) ČSN EN 196 – 21 Metody zkoušení cementu. Část 21: Stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií v cementu (1993).
- (19.) ČSN EN 197 – 1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití (2001).
- (20.) ČSN EN 206-1/Změna Z2 – 2003 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (2003).
- (21.) ČSN EN 413 – 2 Cement pro zdění. Část 2: Zkušební metody (1996).
- (22.) ČSN EN 459 – 1 Stavební vápno - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody (2002).
- (23.) ČSN EN 459 – 2 Stavební vápno - Část 2: Zkušební metody (2002).
- (24.) ČSN EN 998 – 1 Specifikace malt pro zdivo - Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky (2003).
- (25.) ČSN EN 998 – 2 Specifikace malt pro zdivo - Část 2: Malta pro zdění (2003).
- (26.) ČSN EN 1015 – 2 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt (2000).
- (27.) ČSN EN 1015 – 6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty (2000).

- (28.) ČSN EN 1015 – 7 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě (2000).
- (29.) ČSN EN 1015 – 9 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 9: Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty (2000).
- (30.) ČSN EN 13279 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky (2005).
- (31.) ČSN EN 13279 – 1 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky - Část 1: Definice a požadavky (2009).
- (32.) ČSN EN 13279 – 2 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky - Část 2: Zkušební metody (2005).
- (33.) ČSN EN 13286 – 1 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 1: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Úvod, všeobecné požadavky a odběr vzorků (2004).
- (34.) ČSN EN 13286 – 2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška (2005).
- (35.) ČSN EN 13286 – 3 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 3: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Vibrační tlak s řízenými parametry (2004).
- (36.) ČSN EN 13286 – 4 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 4: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Vibrační pěch (2004).
- (37.) ČSN EN 13286 – 5 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 5: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Vibrační stůl (2005).
- (38.) ČSN EN 13286 – 7 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji (2005).
- (39.) ČSN EN 13286 – 40 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 40: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v prostém tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
- (40.) ČSN EN 13286 – 41 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
- (41.) ČSN EN 13286 – 42 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
- (42.) ČSN EN 13286 – 43 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 43: Zkušební metoda pro stanovení modulu pružnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
- (43.) ČSN EN 13286 – 44 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 44: Zkušební metoda pro stanovení součinitele α vysokopecní strusky (2004).
- (44.) ČSN EN 13286 – 45 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 45: Zkušební metoda pro stanovení doby zpracovatelnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy (2005).
- (45.) ČSN EN 13286 – 46 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 46: Zkušební metoda pro stanovení součinitele stavu vlhkosti (MCV) (2004).

- (46.) ČSN EN 13286 – 47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání (2005).
- (47.) ČSN EN 13286 – 48 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 48: Zkušební metoda pro stanovení stupně rozpadu (2006).
- (48.) ČSN EN 13286 – 49 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 49: Zkušební metoda pro stanovení zrychleného bobtnání zemin zlepšených vápnem a/nebo hydraulickými pojivy (2005).
- (49.) ČSN EN 13286 – 50 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 50: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení nebo vibračního stolu (2005).
- (50.) ČSN EN 13286 – 51 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 51: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí vibračního přechu (2005).
- (51.) ČSN EN 13286 – 52 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 52: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí vibrokomprese (2005).
- (52.) ČSN EN 13286 – 53 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 53: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí osového tlaku (2005).
- (53.) ČSN EN 13454 – 1 (72 2485) Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého - Část 1: Definice a požadavky (2005).
- (54.) ČSN EN 13454 – 2 Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého - Část 2: Zkušební metody (2004).
- (55.) ČSN EN 13501 – 1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň (2003).
- (56.) ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry - potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky (2003).
- (57.) ČSN EN 14216 Cement - Složení, specifikace a kritéria shody speciálních cementů s velmi nízkým hydratačním teplem (2004).
- (58.) ČSN EN 14227 – 1 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 1: Směsi zlepšené cementem pro podkladní a spodní podkladní vrstvy (2005).
- (59.) ČSN EN 14227 – 2 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 2: Směsi zlepšené struskou (2005).
- (60.) ČSN EN 14227 – 3 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 3: Směsi zlepšené popílkem (2005).
- (61.) ČSN EN 14227 – 4 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 4: Popílký pro směsi stmelené hydraulickými pojivy (2005).
- (62.) ČSN EN 14227 – 5 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 5: Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivy (2005).
- (63.) ČSN EN 14227 – 10 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 10: Zeminy upravené cementem (2006).
- (64.) ČSN EN 14227 – 11 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 11: Zeminy upravené vápnem (2006).

- (65.) ČSN EN 14227 – 12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 12: Zeminy upravené granulovanou vysokopecní struskou (2006).
- (66.) ČSN EN 14227 – 13 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy (2006).
- (67.) ČSN EN 14227 – 14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 14: Zeminy upravené popílky (2006).
- (68.) ČSN EN 14647 Hlinitanový cement - Složení, specifikace a kritéria shody (2006).

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLÁHA, M. Omítky. 1st ed. Praha: Grada, 2004. 100 p. profi&hobby. ISBN 80-247-0898-1.
- [2] BRANDŠTETER, J.: Některé netradiční způsoby využití strusek hutní výroby při výstavbě komunikací, In. Sb. Přednášek: Využití ocelářenských a vysokopecních strusek v silničním a dálničním stavitelství. Třinec, 1995. p. 19 - 38.
- [3] FEY, M. V., TOMLINSON, I. R., WILLIS, J. P.: A melioration of acidic soil with an ettringitic by-product of waste water treatment. In: South African Journal of Plant and Soil 14(3)/1997. p. 112-119.
- [4] FRIDRICHOVÁ, M.; DVOŘÁK, K.; FRIDRICH, R. Stavíme omítky. 1st ed. Praha: ERA, 2004. 98 p. Edice Stavba. ISBN 80-7366-004-0.
- [5] HOŠEK, J.; LOSOS, L. Historické omítky: průzkum, sanace, typologie. 1st ed. Praha: Grada, 2007. 168 p. Stavitel. ISBN 978-80-247-1395-3.
- [6] KUČERA, J.; DONÉ, P. Technologie betonu a maltovin. 1st ed. Ostrava: VŠB-TUO, 2000. 92 p. ISBN 80-7078-826-7.
- [7] KURAŠ, M.: Odpady, jejich využití a zneškodňování, Praha: ČEÚ, 1994, p. 243, ISBN 80-85087-32-4
- [8] LEDEROVÁ, J., et al.: Využití průmyslových odpadních materiálů při výrobě stavebních hmot. Časopis stavebnictví [online]. 2008, 4 [cit. 10-03-09]. Available from [www: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/vyuziti-prumyslovych-odpadnich-materialu-pri-vyrobe-stavebnich-hmot_N753>](http://www.casopisstavebnictvi.cz/vyuziti-prumyslovych-odpadnich-materialu-pri-vyrobe-stavebnich-hmot_N753). ISSN 1802-2030.
- [9] MALÝ, J. HLAVÍNEK, P.: Čištění průmyslových odpadních vod, Brno: NOEL 2000, 255 p.
- [10] MAXOVÁ, I.; NOVÁK, P., et al.: Péče o architektonické dědictví: sborník prací II: díl. Praha: IDEA SERVIS, 2008. 170 p. Vybrané kapitoly k tématu. ISBN 978-80-85970-62-3.
- [11] MICHOLINOVÁ, D.: Příprava vápenných malt v péči o stavební památky. 1st ed. Praha: ČKAIT, 2006. 76 p. Materiálové technologické zásady péče o historické stavby. ISBN 80-86769-81-X.
- [12] PATENT CZ č.290953 „Způsob čištění důlních vod s nadlimitním obsahem síranů“, 2002.
- [13] PATENT CZ č.292239 „Způsob úpravy důlních vod polyaluminiumchloridem“, 2003.

- [14] PATENT CZ č.295200 „Způsob úpravy důlních vod hlinitanem sodným“, 2005.
- [15] RŮŽIČKOVÁ, Z.; SRB, J.; VIDLÁŘ, J. Druhotné suroviny, nové zdroje průmyslu. Praha: SNTL, 1989. 196 p. ISBN 80-03-00020-3.
- [16] SVOBODA, L., et al.: Stavební hmoty. 2.nd ed. Bratislava: JAGA, 2007. 400 p. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [17] VÁCLAVÍK, V. MALÍKOVÁ, P: Contribution to possibilities of sludge utilization from the chemical-treatment of mine waters and waste waters with excess content of sulphate in the building mixtures, Proc. 11th Conference on Environment and Mineral Processing - Part II, Czech Republic, HGF VŠB-TU Ostrava (2007), ISBN 978-80-248-1278-6, p. 297 – 300.
- [18] VAŘEKA, B. et al.: Využití odpadů z hutí ve stavebním průmyslu, In: Sborník přednášek "Životní prostředí hutnictví železa a hutní výroby". Zlaté hory, červen 1996, p. 81 – 84.
- [19] VAVŘÍN, F.: Maltoviny. 1st ed. VUT Brno: SNTL, 1969. 250 p.
- [20] VIDLÁŘ J.: Vývoj desulfatačních činidel pro důlní vody hnědouhelných lomů, Sb. věd.konf. "New Trends in Mineral Processing II", HGF VŠB-TU Ostrava, 1997.
- [21] VIDLÁŘ, J., SCHEJBAL, C.: Důlní vody s nadlimitním obsahem síranů a možnosti jejich čištění, Sb. věd prací VŠB-TU Ostrava, ročník XLV, č.3, 1999, p.1-14.
- [22] VIDLÁŘ, J., et al.: Vyhodnocení komplexní zkoušky technologické linky ČDV Kateřina-Radvanice, výzk. zpráva HS č. 580427, HGF VŠB-TU Ostrava, 1999.
- [23] BERNARD, J. H. ROST, R. et al.: Encyklopedický přehled minerálů. Praha: Academia Praha, 1992, 704 p., ISBN 80-200-0360-6.
- [24] MOORE, A. E. TAYLOR, H. F.W.: Crystal Structure of Ettringite, In: Acta Cyst., B26, 1969, p. 386 – 393.
- [25] STARK,, J.; BOLLMANN, K. Delayed Ettringite Formation in Concrete [online]. Germany : Bauhaus-University Weimar, [cit. 2009-07-01]. Available from www: <<http://www.itn.is/ncr/publications/doc-23-2.pdf>>
- [26] MINERALOGY DATABASE - Mineral Collecting, Localities, Mineral Photos and Data [online]. Jolyon Ralph, , 22:30 1. July 2009 [cit. 2009-07-01]. Available from www: <<http://www.mindat.org/index.php>>

- [27] VAVRO, M. *Studium vybraných typů velkoobjemových odpadů s ohledem na jejich využití k výrobě samotuhnoucích hydraulických zakládek*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1998. 179 p.
- [28] AĚTCIN, P. *High-performance concrete*. Sherbrooke : Spon Press, 1997. 320 p. Concrete Buildings. ISBN 80-86769-39-9.
- [29] HEEBINK, L.V.; HASSETT, D.J. *Coal Fly Ash Trace Element Mobility in Soil Stabilization : international Ash Utilization Symposium and World of Coal Ash* [online]. University of Kentucky, 2001 , 14.6. 2009 [cit. 2009-06-20]. Available from www: <<http://www.flyash.info/2001/envben2/64heebin.pdf>>
- [30] GRAVER WATER SYSTEMS [online]. , 2005 [cit. 2009-06-20]. Products and Services. Available from www: <<http://graver.com/index.htm>>
- [31] AUER, S., et al. Investigation on MSW fly ash treatment by reactive calcium aluminates and phases formed. *Cement and Concrete Research*, 1995, 25 (6), p. 1347-1359.
- [32] MALÍKOVÁ, P.; HAJDUKOVÁ, J. : Vliv teploty úpravy desulfatačního kalu na pevnostní charakteristiky v sádrových směsích. In FEČKO, P.; ČÁBLÍK, V. (eds.). *Recyklace odpadů XI-II*. Košice, 6. - 7.12.2007. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, p. 77-81. ISBN 978-80-242-1676-0.

PUBLIKAČNÍ ČINNOST

MALÍKOVÁ, P.; HAJDUKOVÁ, J.; NEZVALOVÁ, L. : POPs oxidation by hydrogen peroxide. In FEČKO, P.; ČÁBLÍK, V. (eds.). 13th Conference on Environment and Mineral Processing - Part I. Ostrava, 4.-6.6.2009. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2009, p. 245-250. ISBN 978-80-248-1994-5.

MALÍKOVÁ, P.; VÁCLAVÍK, V. Vliv desulfatačního kalu na pojivové vlastnosti v maltovinách. Informace Českého svazu stavebních inženýrů, 2008, XIV (1), 1-3. ISSN 1213-4112.

MALÍKOVÁ, P.; HAJDUKOVÁ, J. : Vliv teploty úpravy desulfatačního kalu na pevnostní charakteristiky v sádrových směsích. In FEČKO, P.; ČÁBLÍK, V. (eds.). Recyklace odpadů XI-II. Košice, 6. - 7.12.2007. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, p. 77-81. ISBN 978-80-242-1676-0.

HAJDUKOVÁ, J.; MALÍKOVÁ, P. : Možnost využití desulfatačního kalu při odstranění kovů z vod. In FEČKO, P.; ČÁBLÍK, V. (eds.). Recyklace odpadů XI-I. Košice, 6. - 7.12.2007. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, p. 153-156. ISBN 978-80-248-1579-8.

VÁCLAVÍK, V.; MALÍKOVÁ, P. : Contribution to possibilities of sludge utilization from the chemical-treatment of mine waters and waste waters with excess content of sulphate in the building mixtures. In FEČKO, P.; ČÁBLÍK, V. (eds.). Proc. 11th Conference on Environment and Mineral Processing - Part II. Ostrava, 31.5. - 2.6.2007. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007, p. 297-300. ISBN 978-80-248-1278-6.

Pozn.: v tisku

MALÍKOVÁ, P.; HAJDUKOVÁ, J.; NEZVALOVÁ, L. Oxidace polycyklických aromatických uhlovodíků fentonovou reakcí. *GeoScience Engineering* [online]. 2009, x, xx-xx Available from www: <<http://gse.vsb.cz>>. ISSN 1802-5420.

Pozn.: v patentovém řízení

Seznam duševního vlastnictví vzniklého v rámci řešení „CVVP – Centrum výzkumu integrovaného systému využití vedlejších produktů z těžby, úpravy a zpracování energetických surovin -1M06007“ Skupina V005

Název:	Způsob mechanotermické aktivace surového desulfatačního kalu
Majitel:	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Číslo přihlášky:	PV2009-372
Přihlášeno:	10.6.2009
Řešitelé:	Václavík, V. Daxner, J. Malíková, P.